ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE
PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DU Dr TOULOUSE

BIBLIOTHÈQUE DE CHIMIE BIOLOGIQUE

DIRECTEUR GABRIEL BERTRAND

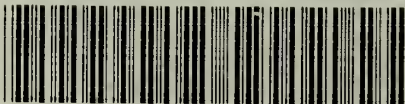
Le Parfum Chez la Plante

PAR

EUG. CHARABOT & C.-L. GATIN



OCTAVE DOIN, EDITEUR, PARIS



Octave DOIN, éditeur, 8, place de l'Odéon, Paris.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr Toulouse

BIBLIOTHÈQUE
DE CHIMIE BIOLOGIQUE

Directeur : GABRIEL BERTRAND

Chef de service à l'Institut Pasteur,
Chargé du cours de Chimie biologique à la Faculté des Sciences.

La vie peut être considérée, dans l'état actuel de nos connaissances, comme un ensemble coordonné de phénomènes en vertu duquel des êtres, d'une organisation et d'une composition complexes, sentent, assimilent et se reproduisent.

Parmi ces phénomènes, il en est, tous les jours plus nombreux, qui sont accessibles à nos moyens d'investigation, que nous pouvons définir et même mesurer. Ces phénomènes sont relatifs à la matière et à l'énergie.

La Chimie biologique, ou Chimie de la vie, étudie principalement la matière des animaux et des plantes. Dans cette étude, elle se place à un double point de vue.

Tout d'abord elle examine, comme le ferait la Chimie des corps bruts en présence d'un minéral, la composition de la matière vivante; elle détermine les corps simples, puis les principes immédiats, de plus en plus complexes, qui entrent dans sa composition. C'est le point de vue statique.

Ensuite, elle recherche les liens qui unissent toutes ces substances, les réactions diverses qui leur donnent naissance ou leur permettent de se transformer les unes dans les autres. C'est le point de vue dynamique.

Ainsi comprise, la Chimie biologique possède un vaste programme. Rien que l'étude de la composition élémentaire, la plus simple cependant, comporte des chapitres variés et présente des applications nombreuses. Qualitative, elle suffit déjà à montrer la complication et aussi l'unité de la matière vivante, animale ou végétale. Quantitative, elle permet d'établir certains parallélismes entre la composition chimique et l'organisation. La toxicologie, l'agriculture utilisent ses résultats; la Chimie analytique elle-même profite de ses exigences pour perfectionner ses méthodes.

Le nombre des chapitres et des applications augmente quand on passe de l'étude de la composition élémentaire à celle de la composition immédiate. Celle-ci s'occupe, en effet, d'un grand nombre de combinaisons purement minérales (eau, gaz, sels) et de principes organiques les plus divers : des sucres et des polysaccharides, des glucosides, des acides, des matières grasses et des cires, des composés terpéniques, des amides, des alcaloïdes, des matières protéiques, des substances colorées, etc., principes dont la plupart possèdent, à côté d'un grand intérêt théorique, une importante valeur pratique.

Le point de vue dynamique soulève, de son côté, les problèmes les plus passionnants. Après avoir abordé l'étude des diastases, qui sont les véritables réactifs de la cellule vivante, il nous conduit à examiner comment la matière organisée prend naissance aux dépens de la matière brute, par quelle série de transformations apparaissent successivement tous les principes immédiats, de quelle manière, enfin, tous ces principes qui, au cours de leur synthèse, ont servi à emmagasiner l'énergie extérieure, venue du soleil, servent à entretenir la vie et font ensuite retour au réservoir minéral.

Toutes les questions d'assimilation, de nutrition, de fermentations sont du domaine de la Chimie biologique, et l'on peut trouver, en cultivant cette partie de la science, aussi bien des arguments de haute portée philosophique que

des faits d'application directe à la médecine, à l'agriculture et à l'industrie.

La Bibliothèque de Chimie biologique, pure et appliquée, essayera de faire connaître à tous ceux qui, sans but intéressé, aiment à s'instruire des choses de la nature ou qui, en raison des besoins de leur profession, doivent entrer quelquefois en rapport avec elle, toutes les questions théoriques et tous les faits acquis relatifs à la matière vivante, depuis les éléments de discussion concernant l'origine des espèces terrestres ou la nature des diastases, jusqu'aux données analytiques sur la composition d'une essence ou les propriétés d'un principe immédiat.

Certains volumes, dont le sujet exige, pour être traité à fond, plusieurs compétences particulières, ont été confiés à deux auteurs à la fois. C'est le cas, par exemple, pour le volume consacré aux principes odorants des végétaux, que la collaboration autorisée de M. Charabot et de M. Gatin a rendu à la fois si original et si intéressant.

On trouvera plus loin la liste complète des volumes : suivant les besoins, il pourra y être apporté quelques modifications.

Les volumes seront publiés dans le format in-18 jésus cartonné ; ils formeront chacun 350 pages environ avec ou sans figures dans le texte. Le prix marqué de chacun d'eux, quel que soit le nombre de pages, est fixé à 5 francs. Chaque volume se vendra séparément.

Voir, à la fin du volume, la notice sur l'ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE, pour les conditions générales de publication.

TABLE DES VOLUMES

ET LISTE DES COLLABORATEURS

*Les volumes parus sont indiqués par un *.*

1. — **Les matières minérales chez les êtres vivants**, par M. M. Javillier, professeur à l'École de médecine et de pharmacie de Tours.

2. — **Les sucres.**

3. — **Les hydrates de carbone complexes.**

4. — **Les glucosides.**

5. — **Les matières grasses et les corps voisins.**

6. — **Les acides organiques naturels.**

*7. — **Le parfum chez la plante**, par M. E. Charabot, docteur ès sciences physiques, inspecteur de l'enseignement technique, et M. C.-L. Gatin, docteur ès sciences naturelles, préparateur de botanique à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

8. — **Les alcaloïdes.**

9. — **Les matières protéiques** (2 volumes), par M. Thomas, préparateur de chimie biologique à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

10. — **Les pigments et les matières colorantes naturelles.**

11. — **Les diastases** (2 volumes).

12. — **Les toxines et les corps analogues.**

13. — **Le lait**, par M. Ch. Porcher, professeur à l'École vétérinaire de Lyon.

14. — **L'urine.**

15. — **Les phénomènes d'assimilation de la matière.**

16. — **L'analyse et la composition des aliments.**

17. — **Les principes de l'alimentation chez les animaux supérieurs**, par M. Mallèvre, professeur de zootechnie à l'Institut national agronomique et au Jardin colonial.

18. — **Les phénomènes chimiques de la digestion.**
19. — **Les phénomènes chimiques de la respiration.**
20. — **Les fermentations des hydrates de carbone.**
21. — **Les fermentations des matières azotées.**
22. — **La chimie physique appliquée aux êtres vivants**, par M. Mouton, docteur ès sciences, attaché à l'Institut Pasteur.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

du Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

Secrétaire général : H. PIÉRON, Agrégé de l'Université.

BIBLIOTHÈQUE DE CHIMIE BIOLOGIQUE

Directeur : GABRIEL BERTRAND

Chef de service à l'Institut Pasteur,
Chargé du cours de Chimie biologique à la Faculté des Sciences.

LE PARFUM CHEZ LA PLANTE

LE PARFUM CHEZ LA PLANTE

PAR

Eug. CHARABOT
Docteur ès Sciences physiques
Inspecteur et membre du Conseil supérieur
de l'Enseignement technique

C.-L. GATIN
Docteur ès Sciences naturelles
Ingénieur agronome
Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris

Avec 21 figures dans le texte

PARIS
OCTAVE DOIN, ÉDITEUR
8, PLACE DE L'ODÉON, 8

1908

INTRODUCTION

Parmi les innombrables substances qu'élabore l'organisme végétal, il en est dont le rôle physiologique est si manifestement prédominant, que leur étude s'est imposée en premier à l'attention des chimistes et des physiologistes. Les mécanismes qui président aux métamorphoses et aux migrations des hydrates de carbone, la coopération de ces principes aux phénomènes fondamentaux de la vie végétale, sont connus dans leurs grandes lignes. Et alors même que l'on ignore encore la constitution chimique des matières albuminoïdes, leur rôle physiologique, leur intervention dans les actes de la vie ont été étudiés avec soin, sinon déterminés avec précision.

Mais à côté de ces substances d'un intérêt de premier plan, hydrates de carbone, matières albuminoïdes, matières grasses, il en est une multitude d'autres dont le rôle semble plus effacé, et qui cependant, ainsi que leur présence normale et constante permet de le supposer, doivent avoir une signification bien précise et peut-être même participer à un acte essentiel. Les composés odorants sont au nombre de ces corps. Leur apparition, leur distribution, leur évolution, leur rôle physiologique, méritent à ce titre un mouvement de curiosité scientifique. Aussi bien, les principes parfumés des plantes se prêtent de la façon la plus parfaite, grâce à la précision des méthodes de travail qui leur sont applicables, à l'étude du chimisme végétal dans quelques-unes de ses relations avec le fonctionnement de la

matière vivante. Ces considérations, d'ordre purement philosophique, seraient en quelque sorte suffisantes pour montrer que le sujet entièrement nouveau que nous allons exposer mérite de prendre une place dans le système de nos connaissances physiologiques.

D'autres considérations, et celles-ci sont d'ordre immédiatement positif, font de notre sujet une question particulièrement intéressante. La culture des plantes à parfums alimente l'une des plus élégantes industries de notre pays, une industrie dont le Sud-Est de la France possède et gardera le monopole, si les productions d'une nature exceptionnellement généreuse et d'un climat des plus cléments continuent d'y être favorisées par un effort persévérant et éclairé.

L'industrie de la Parfumerie, qui, pour réaliser ses originales et suaves créations, recherche constamment des notes nouvelles, a subi durant ces vingt dernières années une véritable révolution. Les innombrables découvertes effectuées durant la seconde moitié du siècle dernier, dans le domaine de la chimie organique, devaient dispenser le progrès en tous points du domaine des réalisations positives. Des corps nouveaux furent obtenus, souvent avec la préoccupation de contrôler un point de théorie, qui possédaient des odeurs agréables et qui devaient recevoir des applications du plus haut intérêt dans l'art d'associer et d'harmoniser les parfums.

D'un autre côté, les parfums des fleurs étaient captés d'une façon plus délicate, présentés sous des formes différentes s'accordant mieux avec les besoins engendrés par l'emploi des parfums artificiels. Ces derniers, habilement et discrètement utilisés, devenaient des éléments d'originalité, les matières odorantes naturelles apportant aux compositions leur finesse et leur suavité.

Là, comme dans toutes les branches de l'activité humaine, le progrès a conduit à la démocratisation. Des besoins sont nés de la possibilité de les satisfaire par l'emploi des par-

fums synthétiques. Et alors se sont posés d'importants problèmes dont l'agriculture et l'industrie du Sud-Est de la France appellent la solution.

Pour que soit effectif et réel le développement de l'exploitation des plantes odoriférantes qui résulte d'un usage des parfums plus large et plus général dans toutes les classes de la société, il faut que les conditions de production soient assez économiques pour permettre d'associer sans trop de parcimonie les produits naturels aux produits de synthèse. Or les exigences de la main-d'œuvre pèsent de plus en plus lourdement sur les prix de revient, et de plus en plus il faut demander au sol, au travail de la plante elle-même, si nous pouvons ainsi dire, ce que l'on attendait jadis en grande partie de l'effort manuel.

C'est en apportant plus de soin, plus de méthode à la culture, plus d'attention à la récolte, en améliorant les espèces autant qu'en perfectionnant les pratiques industrielles, que l'on parviendra à résoudre les difficultés de l'heure présente ; difficultés qui, disons-le bien, ne sont pas dues à des circonstances d'affaiblissement, mais bien à un puissant besoin d'expansion.

Toutes ces questions, si importantes au point de vue positif, seront solutionnées d'une façon d'autant plus aisée et satisfaisante, qu'elles seront ramenées à des principes généraux mieux établis. La connaissance de ces principes généraux découle de celle des relations existant entre les matières odorantes et les mécanismes des fonctions essentielles de la plante.

Depuis longtemps les botanistes ont exercé leurs initiatives à étudier la localisation des essences dans les végétaux, à examiner les voies qui les canalisent ou les réservoirs qui les arrêtent. Mais lorsqu'il s'est agi de porter la question sur le terrain physiologique, soit que les méthodes de travail aient été trop imprécises, soit que les substances examinées fussent insuffisamment définies, soit que la

recherche ait été orientée par des hypothèses trop indépendantes des faits, les résultats ont souvent laissé une grande place à l'incertitude. Nous établirons cependant une exception en faveur des recherches que quelques savants, et notamment M. Guignard, ont effectuées avec tant de méthode et de succès sur un certain nombre d'essences formées d'invidus chimiques bien distincts et provenant du dédoublement de glucosides.

En même temps que se perfectionnait l'art d'extraire les parfums des fleurs, l'étude des matières odorantes enrichissait la chimie organique d'un chapitre nouveau d'une réelle importance. Des méthodes de travail, précises et sûres, pouvaient être appropriées à la recherche, à la séparation, au dosage des composés aromatiques désormais bien définis. M. Charabot, soit seul, soit en collaboration avec M. Hébert ou avec M. Laloue, en fit usage pour aborder l'étude des questions dont nous avons fait ressortir l'importance.

C'est du désir de coordonner les résultats de cet ensemble de recherches, d'en comparer les conclusions et d'en généraliser la portée, qu'est née l'idée d'une collaboration entre les auteurs de cet ouvrage. Le travail qui est résulté de cette collaboration va être présenté dans l'ordre suivant :

Le premier chapitre sera consacré à l'étude générale succincte des *Produits odorants des végétaux*.

Dans le second chapitre, sous le titre : *Distribution des huiles essentielles dans le règne végétal,* on envisagera, au point de vue de leurs productions odorantes, l'ensemble des représentants du monde des plantes. Ce chapitre comprendra un tableau, par familles des plantes ayant fourni des essences, et un tableau dans lequel seront indiqués, pour chacun des principes odorants et par famille, les végétaux qui élaborent ces principes. Ces données conduiront à examiner, dans ses rapports avec l'anatomie et la classification, la nature des corps énumérés.

Serrant de plus près la question, on traitera, dans le

chapitre III, de la *Distribution des composés odorants dans la plante.* Méthodes de recherche microchimique et appareils sécréteurs seront étudiés successivement, pour arriver à la question de la distribution de l'appareil sécréteur dans les divers groupes de végétaux.

La matière odorante, sa distribution dans la Nature d'abord, chez l'individu végétal ensuite, étant connus, le lecteur trouvera, dans le chapitre IV, l'exposé de nos connaissances actuelles sur *la Formation et la circulation des produits odorants.*

Dans le chapitre V, ces produits seront suivis dans les diverses phases de leur *évolution.*

Enfin, pour terminer, on étudiera le *Rôle physiologique des matières odorantes.*

Les divers résultats que nous essayerons de rattacher par leurs liens rationnels, et de présenter dans une succession naturelle, conduiront — tel est du moins le but auquel nous visons — à des principes généraux susceptibles à la fois de contribuer à la connaissance des phénomènes fondamentaux de la vie végétale et d'éclairer la recherche dans la voie des applications positives immédiates.

Paris, décembre 1907.

Eug. Charabot et C.-L. Gatin.

LE
PARFUM CHEZ LA PLANTE

CHAPITRE I

LES PRODUITS ODORANTS DES VÉGÉTAUX

Généralités.

La propriété que possèdent un grand nombre de végétaux de répandre des odeurs plus ou moins pénétrantes, plus ou moins agréables, est due à la présence de substances connues sous le nom d'*essences* ou *huiles essentielles*, distillant avec la vapeur d'eau, solubles dans l'alcool, l'éther, la benzine, l'éther de pétrole et autres solvants organiques usuels.

Les essences sont généralement peu solubles dans l'eau. Dans la grande majorité des cas, ce ne sont pas des individus chimiques, mais bien des mélanges plus ou moins complexes dont la composition quantitative, et quelquefois même la composition qualitative, peut varier selon les méthodes d'extraction et sous l'in-

fluence d'un nombre indéfini de facteurs, dont quelques-uns seront examinés dans cet ouvrage.

Souvent les produits odorants, dont l'ensemble constitue une essence, se trouvent tout formés dans la plante et à l'état de liberté, de sorte que l'on peut en opérer l'extraction directement à l'aide de l'un des procédés qui vont être décrits.

Mais le cas se présente aussi où la matière odorante ne prend naissance que par suite d'une fermentation et sous l'influence d'une diastase hydrolysante. C'est le résultat du dédoublement d'un glucoside. Nous citerons, dans cet ordre d'idées, l'essence d'amandes amères, qui se forme par hydrolyse d'un glucoside, l'amygdaline, sous l'influence d'un enzyme, l'émulsine. Les deux agents, glucoside et enzyme, peuvent voisiner dans le même organe ou bien se trouver dans des parties différentes de la plante. Chez certains végétaux, l'un d'eux seulement peut être signalé.

Ajoutons encore qu'il est des cas où l'essence existe partie à l'état libre, partie à l'état combiné, probablement sous la forme d'un glucoside. C'est ce qui a lieu dans la fleur de Jasmin et dans la fleur de Tubéreuse, par exemple.

La quantité d'huile essentielle et la proportion de ses divers principes constitutifs varie, chez une même plante, au cours de son évolution, soit par suite de la formation de nouveaux matériaux au fur et à mesure de l'apparition de nouveaux organes, soit par suite de la synthèse de tel ou tel principe pendant l'accomplissement des fonctions végétales, soit au contraire par suite de l'utilisation et par conséquent de la destruction d'une partie des substances odorantes. Et

les variations qui en résultent seront influencées d'une façon plus ou moins puissante par les causes même qui actionnent le mécanisme de la vie.

Chez telle plante, l'huile essentielle se trouve distribuée en tous points ; chez telle autre, les principes odorants sont localisés dans une partie seulement de ses organes. Dans un grand nombre de cas, nos connaissances actuelles ne fixent que d'une façon imparfaite la répartition de l'huile essentielle dans le végétal. C'est que, fréquemment, la matière odorante a été extraite de l'organe qui a paru la fournir avec le plus de largesse, sans préoccupation des autres parties. Quoi qu'il en soit, on peut dire que pour remonter le plus possible vers l'origine des produits élaborés par la plante, c'est à la feuille que l'on devra prêter attention, et le cas le plus intéressant au point de vue de l'étendue des déductions fournies par son examen sera celui où l'essence apparaîtra, à l'état de liberté, dans l'appareil chlorophyllien.

Nombreux sont les problèmes qui se posent quand on examine les matières odorantes, telles que nous venons de les définir, dans leurs rapports avec le fonctionnement de la matière vivante. La multiplicité des questions et l'importance des conséquences de leur étude se conçoivent aisément, si l'on tient compte des considérations générales qui précèdent. Mais avant de pouvoir examiner ces questions, il est indispensable de connaître, dans leurs grandes lignes, les méthodes dont on dispose actuellement pour extraire les matières odorantes des végétaux.

Extraction des produits odorants.

Nombreux sont les procédés employés pour l'extraction des parfums, problème délicat s'il en est, car il a pour but de capter les produits les plus fragiles qu'élabore l'organisme végétal, sans altérer leurs qualités les plus subtiles. Pour se rendre compte des difficultés que présente l'obtention d'un résultat satisfaisant, il suffit de se rappeler avec quelle rapidité disparaît ou se dénature le parfum, même le plus pénétrant et le plus suave, d'une fleur dont on a froissé les pétales. Aussitôt que se trouvent brisées les membranes, les produits et les agents emprisonnés dans des cellules différentes se trouvent mis en contact et réagissent; les matières odorantes ne résistent souvent pas à ces conflagrations. D'autre part, ainsi que nous l'avons indiqué déjà, la totalité de l'huile essentielle ne se trouve pas, chez toutes les plantes, à l'état de liberté. Chez certaines fleurs, des dédoublements sont susceptibles de se produire qui mettent en liberté des principes odorants, alors que se prolonge la vie. Nous indiquerons plus loin à l'aide de quel mécanisme; mais on déduit de la seule connaissance du fait lui-même l'intérêt qu'il y aura, dans un cas semblable, à respecter la fleur. Les études qui suivront montreront aussi le profit que l'on peut tirer d'une exploitation judicieuse des plantes à parfums, et par leur culture méthodique et par le choix éclairé de l'époque de la récolte. Dans tous les cas, on aura à se préoccuper à la fois du rendement en matière odorante, de la puissance et de la finesse de celle-ci, de la forme sous laquelle elle se présentera.

Les méthodes d'extraction des parfums sont au nombre de cinq :

1° Expression ;

2° Distillation ;

3° Méthode des dissolvants fixes (macération et enfleurage) ;

4° Méthode des dissolvants volatils ;

5° Infusion.

Expression.

Le procédé d'extraction des huiles essentielles par expression est certainement le plus simple que l'on puisse concevoir ; mais c'est aussi le moins général. Il n'est guère employé qu'en Sicile et en Calabre, pour les essences d'Hespéridées (écorces d'Orange, de Citron, de Bergamote). L'essence est contenue dans les cellules du zeste ; il suffit de briser celles-ci pour l'en faire jaillir.

Distillation.

La méthode employée le plus fréquemment pour l'extraction des matières odorantes est celle de la distillation, dont nous allons indiquer le principe et faire connaître les applications au cas qui nous occupe.

Au préalable, il conviendra de bien faire observer que les matériaux soumis à la distillation devront souvent subir une préparation ayant pour but de les diviser le plus possible. L'essence se trouve, en effet, enfermée dans des cellules dont les parois sont plus ou moins résistantes. Elle peut donc se trouver emprisonnée forte-

ment. Tel est le cas des huiles essentielles fournies par les bois, les racines, les écorces. Il faudra alors moudre, déchiqueter ou broyer les matériaux.

D'autre part, lorsque les produits odorants se trouvent sous forme de glucosides, ceux-ci devront être dédoublés avant l'opération de la distillation. Il y aura lieu, à cet effet, de faire macérer avec de l'eau les matériaux producteurs d'essence.

Ces remarques faites, nous allons indiquer les principes de la méthode.

THÉORIE DE LA DISTILLATION

Chauffons une substance d'une façon continue. Sa température s'élèvera progressivement jusqu'à une certaine limite, puis demeurera constante. A cette température, appelée *point d'ébullition* du corps considéré, la tension de la vapeur sera capable de vaincre la pression qui s'exerce à la surface du liquide. Il se produira alors une émission tumultueuse et continue de vapeurs ; et la totalité de la chaleur fournie au liquide sera utilisée non plus pour élever sa température, mais bien pour produire le changement d'état, c'est-à-dire le passage de l'état liquide à l'état de vapeur.

Si le vase dans lequel on chauffe le liquide est mis en communication, par sa partie supérieure, avec un serpentin refroidi à l'aide de l'eau courante, par exemple, la vapeur s'élèvera pour s'y rendre, et là, au contact de la paroi froide, reviendra à l'état liquide : elle se condensera.

Il est facile de concevoir qu'en chauffant les plantes à parfums dans un semblable appareil distillatoire,

autrement dit dans un *alambic*, l'huile essentielle, si elle était abondante, pourrait après évaporation se condenser dans le serpentin réfrigérant, à l'orifice duquel elle serait recueillie. Mais cette distillation ne pourrait s'effectuer qu'à une température élevée ; la plante surchauffée fournirait des produits de pyrogénation, qui viendraient complètement dénaturer le parfum. Le procédé de la distillation directe est donc impraticable dans le cas qui nous intéresse. Nous allons indiquer comment peut être tournée la difficulté, en faisant application du phénomène de la distillation des liquides mélangés.

En 1863, Berthelot[1] étudia ce phénomène et formula, entre autres conclusions, celles que voici :

1° Deux corps bouillant simultanément se vaporisent suivant des rapports de poids déterminés par le produit des densités de vapeurs multipliées par leurs tensions actuelles dans les conditions de l'expérience;

2° *Deux corps qui n'exercent aucune action réciproque entrent simultanément en ébullition à la température à laquelle la somme de leurs tensions maxima fait équilibre à la pression qui s'exerce à la surface du liquide.*

Le cas de la *distillation simultanée de deux substances non miscibles* était ainsi nettement distingué.

Isidore Pierre et Puchot[2] examinèrent spécialement ce cas, en 1871, et furent conduits à ces conclusions que, lorsqu'on soumet à la distillation simultanée deux substances non miscibles :

[1] Berthelot, 1, 1863, 4e série, t. I, p. 834.

[2] I. Pierre et Puchot, 1871, 4e série, t. XXII, p. 356; 4e série, t. XXIII, p. 145.

1° La température d'ébullition se maintient constante jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule des deux substances dans l'appareil distillatoire.

2° *Cette température d'ébullition des deux substances est toujours inférieure à celle du produit le plus volatil.* Cela résulte d'ailleurs de la loi formulée par BERTHELOT.

3° Il existe, pour deux substances déterminées, un rapport constant entre les quantités de ces deux substances qui distillent simultanément ; mais ce rapport varie avec la nature des produits soumis à la distillation.

Plus tard, M. NAUMANN[1] appliqua à la détermination des poids moléculaires une formule résumant l'une des conclusions de BERTHELOT et donnant le rapport entre les poids P et P' de deux substances non miscibles distillant simultanément. Si M et M' sont les poids moléculaires respectifs des deux corps, F et F' leurs tensions de vapeurs à la température à laquelle s'effectue la distillation. on aura :

$$\frac{P}{P'} = \frac{MF}{M'F'}.$$

APPLICATION DU PHÉNOMÈNE DE LA DISTILLATION A L'EXTRACTION DES ESSENCES

On peut résumer d'une façon plus simple les théories que nous venons d'exposer succinctement. Lorsqu'on chauffe dans le même vase deux substances *non miscibles,* chacune d'elles émet des vapeurs indépendam-

[1] NAUMANN, 1877, t. X, p. 1421.

ment de l'autre. Les effets des tensions de ces vapeurs s'ajoutent alors pour vaincre la pression qui, s'exerçant à la surface du liquide, s'oppose à leur ascension. Et, par conséquent, l'ébullition simultanée de deux substances insolubles l'une dans l'autre se produit à une température inférieure même au point d'ébullition de la substance la plus volatile.

Si donc on ajoute à une essence que l'on veut distiller une certaine quantité d'eau, les deux substances, essence et eau, distilleront simultanément à une température inférieure à 100° sous la pression normale. Dans ces conditions, l'huile essentielle ne subira pas d'altération trop profonde et ne sera accompagnée d'aucun produit de pyrogénation.

Le procédé de la distillation employé industriellement pour extraire les matières odorantes consistera donc à chauffer dans un alambic, avec un certain poids d'eau, la fleur ou les autres parties de la plante renfermant le parfum, à condenser dans un serpentin réfrigérant le mélange de vapeurs d'eau et d'essence qui passe, et à recueillir les deux liquides condensés. Ces deux liquides, pratiquement insolubles l'un dans l'autre, se disposeront en deux couches qu'il suffira de séparer. On aura ainsi une huile essentielle, et des eaux de distillation qui retiendront une proportion plus ou moins grande d'essence selon la solubilité de celle-ci. Nous dirons plus loin un mot de ces eaux.

Le chauffage était jadis effectué au bois ou au charbon, à feu nu. C'est d'ailleurs de cette façon que l'on distille encore aujourd'hui dans la montagne, à l'aide d'alambics portatifs, certaines plantes à essences qui ne peuvent être transportées dans des usines.

Mais, dans les manufactures, on chauffe à l'aide de la vapeur, ainsi que nous allons l'indiquer.

PERFECTIONNEMENTS APPORTÉS AU PROCÉDÉ DE LA DISTILLATION AVEC LA VAPEUR D'EAU

Le principal perfectionnement apporté au procédé de la distillation consiste, ainsi que nous venons de le dire, dans le chauffage à la vapeur d'eau. Celle-ci peut être amenée directement dans l'alambic contenant les matériaux à essence et de l'eau. Elle est alors conduite par une spirale perforée de façon à se répartir dans toute la masse.

Le chauffage peut aussi s'effectuer en amenant la vapeur dans l'enceinte limitée par un double fond entourant l'appareil distillatoire.

Les applications que l'on peut faire de la distillation avec la vapeur d'eau sont extrêmement variées, ainsi d'ailleurs que les dispositifs que l'on peut concevoir en vue de ces applications. Les essences ne sont pas toujours extraites d'organes végétaux, on a quelquefois à les séparer d'avec des produits résineux non volatils. Et souvent se pose le problème de la séparation de substances de volatilités différentes. En nous plaçant à un point de vue général, nous pouvons dire que l'opération est susceptible de s'effectuer de deux façons :

1° Les deux substances non miscibles (essence et eau, par exemple) sont chauffées dans un même appareil distillatoire, où elles se disposent en deux couches superposées.

2° Les deux substances étant contenues dans des

vases différents, l'une d'elles est soumise à l'ébullition, et ses vapeurs sont dirigées au sein de la seconde.

Examinant tout d'abord la première disposition, MM. E. Charabot et J. Rocherolles[1] ont fait les observations suivantes :

Le rapport entre le poids d'un corps et le poids d'eau qui distillent simultanément croît avec la température lorsqu'il s'agit d'un produit pour lequel ce rapport est inférieur à l'unité. Il décroît, au contraire, lorsque la température augmente, s'il s'agit d'un corps pour lequel ce rapport est supérieur à l'unité.

Dans le premier cas, il y aura donc intérêt à élever la température d'ébullition simultanée des deux corps par un accroissement de pression à la surface de la masse liquide. Dans le second cas, il sera avantageux de réduire cette pression.

MM. Charabot et Rocherolles[2] ont aussi étudié le second dispositif : les deux substances sont contenues dans des vases différents ; l'une d'elles est soumise à l'ébullition, et sa vapeur est dirigée au sein de la seconde. Si l'on maintient la substance (l'essence) traversée par la vapeur du corps le plus volatil (l'eau dans le cas qui nous occupe) à une température inférieure à la température à laquelle se produit l'ébullition simultanée des deux liquides, cette vapeur se condensera ; on aura alors deux liquides non miscibles superposés, et la vapeur qui arrivera fournira la chaleur nécessaire pour produire l'ébullition simultanée des

[1] E. Charabot et J. Rocherolles, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 534.

[2] E. Charabot et J. Rocherolles, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 537.

deux substances. On sera ainsi ramené au cas correspondant au premier dispositif.

Le phénomène prend une tournure toute différente lorsque la température à laquelle on maintient la substance la moins volatile (l'essence) est supérieure à celle à laquelle les deux corps entreraient simultanément en ébullition s'ils se trouvaient dans un même vase. Dans ce cas, la substance la plus volatile seule entre en ébullition, les vapeurs émises par l'autre étant constamment entraînées. On se trouve en présence d'un cas très intéressant, en ce sens que l'on peut facilement faire varier *entre des limites très étendues* les proportions relatives des deux corps que l'on distille en même temps. *Le rapport entre le poids de la substance la moins volatile et celui de la substance la plus volatile que l'on recueille simultanément augmente : 1° lorsque croît la température à laquelle on maintient la première substance, 2° lorsque décroît la pression qui règne dans l'appareil.* On peut donc aisément distiller avec un courant de vapeur d'eau une substance non miscible à l'eau et la recueillir en proportion abondante en la chauffant convenablement et en opérant sous pression réduite.

L'étude de MM. Charabot et Rocherolles donne le moyen de préciser les conditions dans lesquelles doit être effectuée, selon le but que l'on poursuit, la distillation avec la vapeur d'eau. Elle a permis d'apporter aux procédés de la distillation de nombreux perfectionnements ; en particulier, elle a conduit à des applications nouvelles et avantageuses de la distillation avec la vapeur d'eau dans le vide.

EXTRACTION DES ESSENCES CONTENUES DANS LES EAUX DE DISTILLATION

Les eaux recueillies au cours de la distillation retiennent en dissolution une certaine proportion d'essence qui leur donne quelquefois une valeur appréciable. C'est pour cela que l'on conserve notamment les eaux de Rose et de fleur d'Oranger. Mais, dans la plupart des cas, les eaux de distillation n'ont aucun emploi. Elles sont alors cohobées de façon qu'elles puissent restituer l'essence qu'elles contenaient, ou plutôt n'en pas emporter une nouvelle quantité.

Lorsqu'il s'agit d'extraire l'huile essentielle en vue de recherches scientifiques, il y a généralement intérêt à obtenir une substance se rapprochant le plus possible de celui qui se trouvait préalablement dans la plante. Pour cela on extrait l'essence contenue dans les eaux de distillation et on la réunit au produit qui, demeuré insoluble, a pu être séparé par décantation. D'autre part, en comparant les résultats de l'analyse de l'essence soluble à ceux de l'analyse de l'essence insoluble, on pourra déterminer les solubilités relatives des divers principes odorants. Et l'on verra plus loin le parti que l'on peut tirer d'une semblable étude.

L'extraction de l'essence contenue dans une eau de distillation s'effectue aisément par agitation de l'eau avec l'éther de pétrole. On fait trois épuisements successifs, on réunit le produit des trois lavages, et on l'évapore au bain-marie sous pression normale. On chasse les dernières traces de dissolvant à la température de

85° dans le vide. Le résidu est formé par l'essence que l'eau gardait en dissolution.

Méthode des dissolvants fixes.

Très ancienne et d'une application très générale en ce qui concerne le traitement des fleurs, la méthode des dissolvants fixes diffère selon que les produits odorants à extraire résistent ou s'altèrent en présence de la graisse chaude, ou plutôt selon que la fleur renferme la totalité de son parfum à l'état de liberté ou bien est susceptible d'en produire à nouveau au fur et à mesure qu'on lui en retire, à condition de prolonger sa vie. Dans le premier cas, on opère par *macération à chaud;* dans le second cas, par *enfleurage.*

Les deux procédés consistent à mettre la fleur en contact avec un corps gras : graisse (graisses de porc et de bœuf), huile d'olive, paraffine ou vaseline. Les produits odorants quittent la cellule végétale pour s'incorporer aux matières grasses dans lesquelles ils sont solubles. Il est presque superflu d'ajouter que les corps gras employés doivent être de première qualité, tout à fait inodores, et en parfait état de conservation.

Avant de les employer, on fait subir aux graisses une purification par fusion qui a pour objet d'écarter toutes les matières putrescibles.

Décrivons successivement les procédés d'extraction des parfums par macération et par enfleurage.

MACÉRATION

La graisse étant fondue au bain-marie (ou l'huile chauffée), on y ajoute la fleur à traiter, et l'on remue constamment la masse pour favoriser l'épuisement. Les fleurs épuisées sont remplacées jusqu'à ce que la graisse soit convenablement chargée de parfum. Pour cela on fait passer un poids déterminé de fleurs. Les fleurs traitées retiennent encore de la graisse parfumée. On les en débarrasse en les exprimant à chaud à l'aide de presses hydrauliques. On obtient ainsi : avec la graisse, des *pommades;* avec l'huile, des *huiles parfumées.*

Le procédé est appliqué à Grasse, notamment à la Violette, à la Rose, à la fleur d'Oranger, à la Cassie.

ENFLEURAGE

Certaines fleurs, comme le Jasmin et la Tubéreuse, ne renferment à l'état de liberté qu'une partie de la matière odorante qu'elles sont susceptibles de fournir. Si on extrait cette matière odorante sans porter atteinte à la vie de la fleur, une nouvelle quantité de parfum sera mise en liberté, qu'on pourra recueillir au fur et à mesure de son apparition. Si, au contraire, on fait un épuisement à l'aide de la graisse chaude, non seulement on obtiendra un parfum altéré, mais encore la fleur perdra son aptitude à régénérer la matière odorante qui lui aura été enlevée.

Aussi, dans le cas de semblables fleurs, procède-t-on par enfleurage à froid.

On dispose de la graisse sur les deux faces d'une

lame de verre entourée d'un cadre en bois. Sur la face supérieure de cet appareil, appelé châssis, on répand les fleurs.

Sur le châssis ainsi garni on en fait reposer un autre, et ainsi de suite. Les fleurs se trouvent alors enfermées dans des chambres dont la paroi supérieure et la paroi inférieure sont recouvertes de graisse. La graisse de la paroi inférieure se parfume par contact, par diffusion; quant aux matières odorantes qui se dégagent, elles sont retenues par la graisse adhérant à la paroi supérieure.

De cette façon les produits odorants pénètrent dans la graisse par diffusion. Et cela. au fur et à mesure de leur formation, qui d'ailleurs se continue pour compenser la perte que subit constamment la fleur. Ce mécanisme s'explique par un phénomène d'équilibre chimique dans la cellule végétale, phénomène dont nous aurons l'occasion de nous occuper plus loin.

Le lendemain, on remplace les fleurs épuisées en ayant soin de retourner les châssis. Cette opération est renouvelée jusqu'à ce qu'on ait obtenu la concentration désirée.

L'emploi de cette méthode n'est donc possible qu'avec les fleurs dont la récolte est d'assez longue durée. Il en est fort heureusement ainsi du Jasmin et de la Tubéreuse, dont la floraison est continue pendant trois longs mois, surtout en ce qui concerne le Jasmin.

Si l'on veut parfumer, non pas de la graisse, mais de l'huile, les châssis dont on fait usage diffèrent des précédents en ce que la lame de verre est remplacée par un grillage métallique supportant une toile épaisse imbibée d'huile.

ÉPUISEMENT DES POMMADES ET DES HUILES PARFUMÉES

Que l'on procède par macération ou par enfleurage, on obtient les produits odorants sous forme de *pommades* ou d'*huiles parfumées*.

Le parfum est dissous dans un véhicule, la graisse ou l'huile, dont il faudra se débarrasser.

Pour cela, on utilisera la propriété que possèdent les composés odorants de se dissoudre dans l'alcool, propriété qui n'appartient pas aux corps gras employés. Il suffira de brasser la pommade avec de l'alcool, pour que celle-ci s'empare du parfum sans dissoudre des quantités appréciables de graisse. D'ailleurs, la faible proportion de graisse retenue par l'alcool sera éliminée par refroidissement de la solution à — 10 ou — 15° et par filtration ultérieure. L'épuisement des graisses se fait mécaniquement à l'aide de *batteuses*. Il nécessite plusieurs lavages successifs.

Méthode des dissolvants volatils.

Cette élégante méthode, assez ancienne déjà, puisqu'il faut remonter à l'année 1835 pour en trouver l'origine, n'est entrée dans la pratique industrielle que depuis une quinzaine d'années. Elle fournit des produits qui répondent aux besoins actuels de la parfumerie et correspondent exactement à son orientation nouvelle.

Le principe en est des plus simples : on dissout la matière odorante de la fleur dans une substance volatile, on évapore ensuite le dissolvant.

Il fallait trouver un dissolvant remplissant un certain nombre de conditions, et notamment les suivantes : dissoudre parfaitement les parfums, distiller régulièrement à une température ou à une échelle de températures suffisamment basse, n'exercer aucune action chimique sur la matière végétale, ne laisser aucune odeur après évaporation, se trouver à un prix abordable. Il fallait aussi réaliser un dispositif permettant la récupération aussi complète que possible du dissolvant. Le premier de ces problèmes a été résolu le jour où l'industrie des pétroles a fourni les parties légères parfaitement rectifiées et désodorisées. L'élimination du dissolvant est effectuée par distillation et peut être complète grâce à l'emploi du vide. Sa récupération est opérée dans des appareils clos.

Imaginée par Robiquet, la méthode fournit à M. Massignon les premiers résultats industriels. Il convient d'ajouter que, au point de vue des appareils permettant l'emploi et la récupération des dissolvants, les études de M. Naudin eurent d'heureuses conséquences. Aujourd'hui l'application de la méthode des dissolvants volatils s'est généralisée dans le Midi de la France, où chaque usine a adopté un dispositif spécial.

L'éther de pétrole vient au contact des fleurs et se charge de matières odorantes ; il est ensuite amené dans un évaporateur, où il est distillé et recueilli pour servir dans une autre opération. Quant aux produits odorants, on les trouve comme résidus de l'évaporation. Il est bien entendu que l'épuisement se fait d'une façon méthodique, c'est-à-dire que les fleurs déjà soumises à un premier traitement sont traversées par du dissolvant neuf, tandis que le dissolvant chargé passe sur des fleurs non encore épuisées.

Le parfum ainsi extrait se trouve sous une forme plus ou moins concrète; il est extrêmement concentré et rappelle d'une façon fidèle celui de la fleur. En d'autres termes, la méthode qui vient d'être décrite présente l'intérêt de fournir des produits d'une grande finesse, réunissant sous un faible volume une importante masse de parfum.

Mais la méthode des dissolvants volatils, appliquée comme il vient d'être dit, présente un inconvénient. L'éther de pétrole dissout, en même temps que le parfum des fleurs, des cires végétales insolubles dans l'alcool. Ces cires sont inodores et rendent incommode, à cause de leur insolubilité, l'emploi des parfums extraits au moyen de l'éther de pétrole. Il est en effet nécessaire, pour séparer la matière odorante, d'effectuer de nombreux et délicats lavages à l'alcool. Ces lavages occasionnent des pertes d'alcool assez notables et, s'ils ne sont pas effectués d'une façon parfaite, ne suffisent pas pour produire un épuisement complet. De plus, ils forcent le parfumeur à diluer la matière odorante, de sorte que celle-ci se trouve, dans les compositions, dominée, écrasée par le parfum artificiel dont l'originalité est si précieuse et dont la brutalité peut être si bien vaincue par le parfum naturel, lorsque celui-ci lui oppose une puissance égale à la sienne. Il était donc du plus haut intérêt pratique d'arriver, en choisissant et employant convenablement les dissolvants, à précipiter la matière insoluble, c'est-à-dire à extraire les principes odorants, à l'exclusion de toute substance inerte, de tout véhicule gênant ou inutile, sous forme de produits entièrement solubles dans l'alcool : ce problème est résolu, mais on comprendra que

nous nous abstenions d'en indiquer la solution. Nous nous limiterons également, en ce qui concerne un autre perfectionnement, à une indication sommaire et réservée : La plupart des matières obtenues à l'aide du procédé qui nous occupe sont colorées et communiquent aux extraits d'odeur des teintes d'autant plus foncées que la concentration des produits à préparer doit être plus grande. Dans ces conditions, et en raison de l'heureuse orientation actuelle de la parfumerie, il y avait un intérêt de premier plan à résoudre le problème de l'extraction des parfums, à l'exclusion non seulement des matières insolubles inertes, mais aussi des pigments végétaux. Cette question, comme la précédente, a reçu une solution pratique.

Infusion.

Pour terminer cette description sommaire des méthodes d'extraction des matières odorantes, il nous reste à signaler le procédé qui consiste à mettre en infusion[1] dans l'alcool le produit, préalablement divisé, dont on veut retirer le parfum. On opère ainsi avec des matériaux desséchés, pour que l'alcool ne se trouve pas dilué, et l'on facilite l'épuisement par une agitation mécanique.

Remarque. — Une remarque s'impose en ce qui concerne l'emploi des divers procédés d'extraction des parfums. On pourrait être tenté de penser que les mé-

[1] Ce terme technique usité dans l'industrie des parfums ne correspond pas à celui qui est en usage en pharmacie.

thodes les plus modernes se sont substituées aux procédés plus anciens et en apparence moins rationnels.

En réalité, il n'en a rien été, et les divers procédés (distillation, emploi des dissolvants fixes et des dissolvants volatils) sont, dans bien des cas, employés concurremment dans le Midi de la France.

Généralités sur la composition des huiles essentielles.

Les matières odorantes dont nous venons de faire connaître les méthodes d'extraction sont, dans la grande majorité des cas, des mélanges plus ou moins complexes de corps jouant, au point de vue du parfum, des rôles d'inégale importance. Les uns contribuent puissamment à l'arome de la plante en apportant leurs caractères organoleptiques particuliers; d'autres participent simplement à l'harmonie du mélange. Il en est qui, complètement inodores ou peu odorants, ont un rôle tout à fait effacé. Enfin certains corps constituent des facteurs négatifs qu'il y a intérêt à éliminer.

On rencontre, parmi ces constituants odorants de toute catégorie, des composés qui, par l'ensemble de leurs propriétés, par leurs relations de composition et de structure, par leurs liens d'étroite parenté, ont formé un groupe homogène et distinct dans le système de nos connaissances chimiques. On les a désignés sous le nom de *composés terpéniques*.

Les composés terpéniques de toutes fonctions peuvent être définis, comme on a l'habitude de procéder en chimie

organique, en partant des hydrocarbures correspondants.

Les hydrocarbures du groupe terpénique comprennent : les *terpènes* proprement dits, répondant à la formule générale $C^{10}H^{16}$, ainsi que leurs produits d'hydrogénation $C^{10}H^{18}$, et les *sesquiterpènes*, dont la formule générale est $(C^{10}H^{16})\frac{3}{2}$, c'est-à-dire $C^{15}H^{24}$.

On peut concevoir la formation d'un *alcool terpénique* par substitution d'un groupement OH à un atome d'hydrogène d'un terpène ou par hydratation d'un tel hydrocarbure (on obtient alors des alcools $C^{10}H^{16}O$ et $C^{10}H^{18}O$). De même, les sesquiterpènes sont capables de fournir, par le même mécanisme, des *alcools sesquiterpéniques* $C^{15}H^{24}O$ ou $C^{15}H^{26}O$. Inversement, par déshydratation d'un alcool terpénique, on obtient un terpène; par déshydration d'un alcool sesquiterpénique, un sesquiterpène.

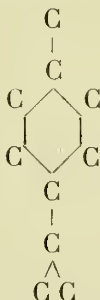
L'oxydation des alcools primaires, terpéniques ou sesquiterpéniques, fournit des *aldéhydes terpéniques* ou *sesquiterpéniques*. L'oxydation des alcools secondaires conduit à des *cétones*. Et ainsi de suite.

Et ces corps de formations différentes, mais de relations semblables à celles que nous venons d'indiquer, se trouvent souvent réunis dans la même huile essentielle, si bien que l'on se trouve tout naturellement conduit à penser qu'ils dérivent les uns des autres par des transformations chimiques, hydratations, déshydratations, oxydations, réductions, qui sont précisément de la nature de celles que l'on observe le plus fréquemment dans l'organisme vivant.

Il n'existe pas seulement des relations chimiques entre un terpène déterminé, l'alcool correspondant, l'aldéhyde

ou la cétone, ou autres fonctions qui en dérivent normalement et possédant en quelque sorte des liens de parenté en ligne directe. Il existe aussi, dans le groupe terpénique, des parentés en ligne collatérale. De sorte que tous ces corps peuvent former un groupe spécial, étendu, et en même temps bien défini.

Au point de vue de leur constitution, les composés terpéniques possèdent, dans leurs molécules, de tels arrangements des atomes de carbone, que leurs squelettes sont identiques à celui du parascymène ou peuvent l'engendrer facilement.



Squelette du p-cymène.

Les uns sont représentés par les formules linéaires qui se forment aisément selon la disposition architecturale du para-cymène ; les autres sont représentés par des formules cycliques dans lesquelles le squelette du cymène apparaît ou peut se former par une désarticulation dont le mécanisme est réalisable.

Indépendamment des composés terpéniques, les huiles essentielles renferment, en grand nombre, des corps appartenant soit à la série grasse, soit à la série

aromatique, soit à d'autres groupes de corps ne rentrant pas dans ces deux séries. Certains même, fait extrêmement curieux, avaient été découverts antérieurement dans l'économie animale. C'est ainsi que le même corps, l'indol, qui fait partie des produits de désassimilation accumulés dans l'intestin de l'homme, a été mentionné parmi les principes contribuant au parfum de la fleur de Jasmin et à celui de la fleur d'Oranger, tous deux pourtant si délicats et si fins!

Nous énumérerons les différents principes constitutifs des huiles essentielles dans le chapitre suivant, en même temps que nous étudierons leur distribution dans le règne végétal.

Influence des conditions de sol et de milieu sur la composition des huiles essentielles.

Les principes dont nous venons de dire un mot se trouvent distribués entre un grand nombre de représentants du règne végétal. Le nombre des plantes dont les huiles essentielles ont été étudiées est malheureusement trop restreint, ainsi que nous le verrons plus loin, pour qu'on puisse songer encore à rechercher s'il existe une corrélation entre la nature des produits odorants qu'on peut retirer d'un végétal donné, et la place de celui-ci dans la classification. Cependant, anticipant, pour la clarté de notre exposé, sur les chapitres qui vont suivre, nous pourrons dès à présent faire quelques remarques fondamentales.

En premier lieu, il arrive fréquemment que certains

produits odorants se retrouvent chez des végétaux très éloignés les uns des autres dans la classification.

D'autre part, souvent, on peut même dire généralement, on trouve, réunies dans une même plante, des substances qui possèdent entre elles des relations chimiques si étroites, qu'il est difficile de ne pas en déduire des relations d'origine.

Si l'on considère, en particulier, un végétal déterminé, on constatera, et nous préciserons plus loin les raisons de ce fait, que ses différents organes fourniront des huiles essentielles dont la composition sera différente, au moins au point de vue quantitatif. Ceci ne devra pas nous surprendre, si nous considérons que chaque partie de la plante joue un rôle différent dans l'élaboration, le transport et la mise en réserve ou le rejet des principes immédiats, et en particulier des huiles essentielles.

Il est facile de concevoir ainsi que toutes les causes susceptibles d'influer sur le travail physiologique qui s'accomplit à chaque instant dans le végétal, pourront également influer sur la composition des huiles essentielles et que, par conséquent, nous devons nous attendre à voir cette composition varier suivant les conditions de milieu dans lesquelles la plante se trouve placée.

On sait de quelle influence considérable jouissent la lumière, la chaleur, l'humidité, la nature chimique du sol, sur la structure et les principales fonctions physiologiques des végétaux.

Nous ne pouvons songer ici à décrire en détail la série des travaux qui ont montré quelle était la nature et l'importance relative de l'influence de ces divers facteurs : le lecteur désireux de s'en faire une idée d'en-

semble en trouvera un exposé complet dans le livre magistral du professeur Eug. Warming[1].

Il nous faut cependant retenir que de ces divers facteurs les plus importants à considérer sont : la température, l'éclairement, l'humidité de l'air, l'humidité du sol, la nature chimique du terrain et la composition des substances solubles se trouvant dans l'eau absorbée par les racines.

Les études d'anatomie expérimentale, et en particulier celles de M. Gaston Bonnier[2], ont montré que les plus grandes modifications anatomiques se produisent sous l'influence de l'humidité de l'air et de l'éclairement.

M. Bonnier a montré également que l'assimilation chlorophyllienne variait surtout sous l'influence de ces deux facteurs.

En raison de ce qui a été dit plus haut, il n'est pas douteux que l'ensemble de tous ces facteurs, et par suite les divers climats, n'arrivent à influencer la teneur des végétaux en huiles essentielles et la composition de celles-ci.

L'étude détaillée de l'influence des facteurs sur la production des parfums chez les végétaux peut conduire à d'intéressantes déductions théoriques et à des résultats utilisables au point de vue pratique. MM. Charabot et Hébert ont amorcé cette étude, et c'est l'exposé de leurs recherches que nous entreprendrons maintenant.

[1] Eug. Warming.

[2] G. Bonnier, 1, 1895, t. XX ; et 2, 1890, t. II ; 1894, t. VI ; 1895, t. VII.

Influence de la nature du sol.

Le sol peut, selon sa nature, offrir à la plante les conditions d'alimentation les plus variées. Aussi conçoit-on que l'influence de sa composition sur le travail chimique qui s'opère dans l'organisme végétal puisse être tout particulièrement marquée. D'ailleurs, les recherches d'anatomie expérimentale exécutées dans ces dernières années nous ont appris que la composition du sol avait une influence manifeste sur la structure anatomique des végétaux supérieurs[1].

En poursuivant des recherches dont nous aurons l'occasion de rendre compte plus loin, MM. E. Charabot et A. Hébert[2] ont été amenés à étudier l'influence des sels minéraux ajoutés au sol sur la marche des phénomènes biochimiques susceptibles de modifier la composition des huiles essentielles. Leurs expériences ont porté sur la Menthe poivrée (*Mentha piperita* L.), et les résultats qu'ils ont obtenus sont de nature à fixer les idées sur l'importance du facteur envisagé. Cette importance, d'ailleurs, se manifestera mieux encore lorsque nous étudierons l'influence de la composition minérale du sol sur la formation de l'essence.

MM. Charabot et Hébert ont divisé en treize lots un champ dont la terre avait été préalablement analysée. L'un des lots a été affecté à une culture normale, sans addition de sels minéraux. A chacun des autres

[1] Dassonville, 1898, t. X.

[2] E. Charabot et A. Hébert, 2, 1902, 3e série, t. XXVII, p. 204 et p. 914.

lots, on a ajouté l'un des sels minéraux suivants : chlorures de sodium, de potassium, d'ammonium ; sulfates de sodium, de potassium, d'ammonium, ferreux, de manganèse ; nitrates de sodium, de potassium, d'ammonium ; phosphate disodique.

Les quantités de sels employées avaient été calculées sur les bases suivantes : pour chacun des sels de sodium, cinq cents kilogrammes à l'hectare en solution dans vingt-trois mètres cubes d'eau, et des quantités équimoléculaires pour les autres sels.

A la fin de la végétation, les plantes des différents lots furent coupées et soumises séparément à la distillation.

L'essence de Menthe renferme principalement un principe alcoolique appelé *menthol*. Celui-ci existe partie à l'état libre, partie à l'état d'éther. Il est accompagné de la cétone correspondante appelée *menthone*. L'analyse des huiles essentielles obtenues comme nous venons de l'indiquer permit d'observer des différences de composition quantitative assez sensibles.

L'essence de Menthe est considérée comme une substance normalement lévogyre ; et cependant la plupart des produits obtenus par MM. Charabot et Hébert déviaient vers la droite le plan de polarisation de la lumière. Un fait semblable est de nature à montrer avec quelle prudence doivent être interprétés les résultats analytiques dans la recherche des falsifications.

D'une manière tout à fait générale, l'addition de sels minéraux au sol eut pour effet de favoriser l'éthérification du menthol chez la plante. Par contre, la proportion de menthone contenue dans l'huile essentielle se trouva très sensiblement réduite.

Nous indiquerons plus loin à l'aide de quels mécanismes de telles modifications se sont produites. Il nous suffit, pour le moment, de bien fixer l'attention sur la seule possibilité du fait lui-même.

Influence de la lumière.

La lumière exerce sur les phénomènes fondamentaux de la vie végétale les influences capitales que l'on sait. Il était donc tout naturel de penser que ces influences devaient aussi se faire sentir sur les phénomènes susceptibles de modifier la composition des huiles essentielles. Les travaux de M. Gaston Bonnier nous ont appris que, parmi les facteurs dont l'ensemble constitue le climat, la lumière est un de ceux dont l'action est le plus énergique.

Cette action se traduit par des modifications morphologiques et par des modifications fonctionnelles. Il n'est pas sans intérêt de rappeler qu'à un éclairement plus intense correspondent une augmentation de volume des canaux sécréteurs et une activité chlorophyllienne plus grande. Nous verrons plus loin que la production et les mutations des corps dont l'ensemble constitue le parfum sont en relation étroite avec le fonctionnement de l'appareil chlorophyllien.

MM. E. Charabot et A. Hébert[1] ont étudié les différences de composition existant entre une essence extraite de plants de Basilic (*Ocimum Basilicum* L.) ayant poussé en pleine lumière et une essence extraite

[1] E. Charabot et A. Hébert, 2, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 584.

de plantes maintenues à l'ombre. L'essence de Basilic renferme un éther de phénol (*estragol*) et des composés terpéniques. Dans le premier cas, la teneur en estragol était de 57,3 %, et la teneur en composés terpéniques de 42,7 %. Dans le second cas, l'essence renfermait 74,2 % d'estragol et 25,8 % de composés terpéniques.

Ces nombres suffisent pour montrer quelle peut être l'influence de la lumière seule sur la composition d'une essence. Plus loin, nous indiquerons des résultats dus à des influences simultanées, parmi lesquelles celle de l'éclairement jouera un rôle important.

Influence de l'état hygrométrique.

M. Gaston Bonnier a montré, au cours de ses recherches sur l'anatomie expérimentale, que la sécheresse agit sur les plantes dans le même sens que la lumière.

L'influence de ce facteur sur la formation et la composition des essences chez les végétaux est malheureusement encore peu étudiée, mais les quelques données que nous possédons sur cette question suffisent à en démontrer l'importance.

On récolte, dans les régions montagneuses du Sud-Est de la France, des quantités importantes d'essences de Lavande, dont la composition quantitative varie entre des limites assez étendues. Le principal constituant de l'essence de Lavande est l'éther acétique d'un alcool connu sous le nom de *linalol*, et il est bien rare que la proportion de cet éther (acétate de linalyle) soit inférieure à 25 % et même à 30 %. Elle peut, par contre,

s'élever exceptionnellement au-dessus de 50 %. Or l'Angleterre produit une essence de Lavande dont la composition est sensiblement différente, tout au moins au point de vue quantitatif. Elle ne contient, en effet, pas plus de 5 à 10 % d'éther. En outre, tandis que l'essence française ne renferme que des traces d'un oxyde, l'*eucalyptol* (*cinéol*) dont nous parlerons plus loin, l'essence anglaise en contient des proportions assez abondantes.

Cette différence de composition peut évidemment être attribuée à un grand nombre de causes ; mais elle paraît due surtout à l'humidité du milieu dans lequel se développe la plante anglaise et à la sécheresse des régions alpines ou dauphinoises qui fournissent l'essence française. Aussi bien, une essence extraite de Lavandes cultivées dans les environs de Paris renfermait, elle aussi, une très faible proportion d'éther, 10,2 %. La seule influence de l'altitude ne saurait suffire à expliquer un tel résultat. De plus, M. E. Charabot[1] a analysé en 1894, 1895 et 1896, toute une série d'essences provenant des cimes élevées des Alpes et du Dauphiné. Les nombres trouvés pour les teneurs en éther oscillaient entre 35 et 45 %. Pendant l'année 1897, une sécheresse extrême sévit dans le Midi de la France ; des échantillons, recueillis dans les mêmes régions, présentèrent des teneurs en éther variant entre 37 et 48 %. Le pouvoir lévogyre de ces dernières essences était d'ailleurs très élevé, au point de dépasser la limite supérieure généralement admise pour cette constante physique.

Ainsi, le minimum pour la teneur en éther et le

[1] E. Charabot, 3, 1901, 3e série, t. XXV, p. 263.

maximum correspondant aux années 1894, 1895 et 1896. sont respectivement inférieurs au minimum et au maximum correspondant à l'année 1897, qui fut exceptionnellement sèche.

Influence de l'altitude.

Les plantes soumises à l'action du climat alpin subissent des modifications de structure et de fonctions d'autant plus considérables que les deux conditions naturelles les plus importantes de ce climat, la sécheresse et l'éclairement intense, tendent à agir dans le même sens sur les végétaux.

M. E. Charabot[1] s'est proposé de rechercher quelle était l'influence de l'altitude sur l'essence contenue dans la Lavande. Il a, de 1894 à 1900, analysé tous les ans plusieurs centaines d'échantillons d'essences récoltés à des altitudes différentes.

Il a rendu négligeables, en ne considérant que la moyenne des nombres obtenus pour chaque altitude, les causes susceptibles d'exercer une influence sur les résultats. Et il est arrivé à cette conclusion que, d'une manière générale et toutes choses égales d'ailleurs, la richesse en éther est d'autant plus grande que l'altitude à laquelle la plante a vécu est plus élevée. C'est d'ailleurs à la même opinion que des observations analogues ont conduit MM. Gildemeister et Hoffmann[2].

Ce résultat n'a rien d'inattendu, puisque l'influence

[1] E. Charabot, 3, 1901, 3e série, t. XXV, p. 261.

[2] Gildemeister et Hoffmann, p. 737.

du climat alpin sur les végétaux est due, en majeure partie, à la somme des influences de la sécheresse et de l'éclairement.

Influence de la provenance.

L'influence de la provenance est la résultante des influences combinées du climat et du sol.

Elle pourra se manifester sur la composition quantitative et qualitative des essences, ainsi qu'il est facile de le prévoir, en tenant compte de ce qui précède.

Nous indiquerons, à l'aide d'exemples pris chez des plantes fournissant des essences variées, quelques-unes des modifications qui se produisent sous l'influence du climat.

Il est presque superflu d'indiquer que les produits soumis à la comparaison ont été extraits de plantes également développées.

1° GRAMINÉE PRODUISANT UN ALCOOL.

L'essence de Palma rosa (*Andropogon Schœnanthus* Flück. et Hanb., famille des Graminées) est produite par les Indes orientales, les îles de la Malaisie et de Ceylan. Elle est formée presque exclusivement d'un alcool terpénique primaire, le *géraniol*[1], partie à l'état libre, partie à l'état d'éthers acétique et caproïque[2]. C'est d'ailleurs une des sources industrielles du géraniol. Elle renferme en même temps un peu de dipentène et de méthylhepténone.

[1] Jacobsen, 1871, t. CLVII, p. 232.
[2] Gildemeister et Stephan, 1896, t. CCXXXIV, p. 321.

M. Charabot[1] a étudié une essence originaire de la Nouvelle-Calédonie et fournie, d'après M. Etesse, précisément par l'*Andropogon Schœnanthus*. Cette essence ne renfermait qu'une proportion d'alcool relativement faible (10,2 %). Par contre, elle contenait une proportion élevée (43,2 %) de l'adéhyde (*citral*) correspondant au géraniol. Il s'y trouvait en même temps 7 % d'une autre aldéhyde appelée *citronnellal*, et qui n'est autre qu'un dérivé dihydrogéné du citral. Ainsi, on trouve dans l'essence d'*Andropogon Schœnanthus* de la Nouvelle-Calédonie un principe, le citral, qui n'existe pas dans l'essence fournie, aux Indes orientales, par la même plante. Mais les principaux constituants odorants produits par le végétal sous les deux climats ne sont pas sans relation de parenté, puisque l'un est l'aldéhyde correspondant à l'autre.

Nous avons là un exemple de variation d'ordre qualitatif.

2° COMPOSÉE PRODUISANT UN ALCOOL ET LA CÉTONE CORRESPONDANTE

L'essence d'Absinthe est extraite des parties aériennes de l'*Artemisia Absynthium* L. (famille des Composées) et produite notamment par le Midi de la France, l'Algérie et l'Amérique.

L'essence américaine renferme principalement une cétone $C^{10}H^{16}O$ (*thuyone*), à côté d'environ 24 % de l'alcool correspondant (*thuyol*) partie à l'état libre, partie à l'état d'éther.

[1] Charabot, **2**, 1904, p. 95.

M. Charabot[1], ayant examiné des essences d'Absinthe extraites de plantes cultivées à Choisy-le-Roi (près Paris), trouva que celles-ci contenaient de 9,7 à 13,1 % d'éther, 9,0 % de thuyol libre, 16,6 à 19,5 % de thuyol total et enfin de 43,1 à 35,0 % de thuyone.

Donc le constituant principal de l'essence extraite de plantes cultivées dans la région parisienne est aussi la *thuyone*.

Mais tout autre fut le résultat obtenu par MM. Charabot et Laloue[2], en examinant des essences provenant du Midi de la France.

Deux échantillons furent préparés, l'un en 1900, l'autre en 1905, à l'aide de plantes sauvages, coupées dans la montagne, à Caussols (Alpes-Maritimes). Leur analyse donna les résultats suivants : 9,0 et 5,5 % d'éther, 71,9 et 76,3 de thuyol libre, 78,9 et 80,6 % de thuyol total, enfin 8,4 et 3,0 % de thuyone.

On voit que ces essences ne renferment, à l'inverse de ce qui a lieu pour les essences d'Amérique et de la région parisienne, que de faibles proportions de thuyone. Par contre, elles sont très riches en principe alcoolique. Ce n'est donc pas la thuyone, mais bien le *thuyol* qui en est le constituant principal.

Une essence d'Absinthe provenant de semis effectués à Grasse et extraite au moment de la floraison possédait la composition suivante : 35,6 % d'éther, 12,3 de thuyol libre, 40,2 % de thuyol total et 7.6 % de thuyone.

Le constituant principal de l'essence d'Absinthe cul-

[1] E. Charabot, 3, 1900, 3e série, t. XXIII, p. 474.
[2] E. Charabot et Laloue, 1, 1907, 4e série, t. I, p. 483.

tivée à Grasse est aussi le *thuyol*. Mais cette essence diffère du produit de montagne en ce qu'elle renferme notablement moins d'alcool total que cette dernière et, cependant, sensiblement plus d'alcool combiné.

3° LABIÉE PRODUISANT UN ÉTHER DE PHÉNOL

Il a été étudié des essences de Basilic (*Ocimum Basilicum* L., famille des Labiées) de diverses provenances :

1° Une essence de France ; 2° une essence d'Algérie; 3° une essence d'Allemagne; 4° une essence de la Réunion; 5° une essence de Java.

Toutes ces essences proviennent de la même espèce.

1° L'*essence française* fut étudiée en premier par MM. J. Dupont et J. Guerlain[1], qui y démontrèrent la présence d'un alcool (*linalol gauche*) et d'un éther de phénol (*estragol*). MM. Charabot et Laloue[2] y ont caractérisé en outre un autre composé (*cinéol*).

2° L'*essence algérienne* possède, d'après ces derniers auteurs, la même composition qualitative.

3° Dans l'*essence allemande*, MM. Bertram et Walbaum[3] ont identifié les constituants de l'essence française.

4° L'*essence de la Réunion* contient, d'après MM. Bertram et Walbaum, un terpène (*pinène droit*), un oxyde (*cinéol*), une cétone (*camphre droit*) et 60 % d'un éther de phénol (*estragol*). Le linalol n'en fait pas partie.

[1] J. Dupont et J. Guerlain, 1897, t. CXXIV, p. 309.
[2] Charabot et Laloue, 1, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 585.
[3] Bertram et Walbaum, 1897, t. CCXXXV, p. 176.

5° M. P. Van Romburgh[1] a distillé trois variétés d'*Ocimum Basilicum* L. *de Java :* l'une n'a fourni qu'une faible quantité d'essence, la seconde une essence contenant de l'*estragol*, et la troisième un terpène hexavalent (*ocimène*) et 30-46 % d'un phénol (*eugénol*).

On voit, d'après ces résultats, quelles peuvent être les différences de composition d'une essence produite par la même espèce selon l'origine géographique.

4° OMBELLIFÈRE PRODUISANT UN ÉTHER DE PHÉNOL

Les semences d'*Apium petroselinum* L. (Ombellifères), récoltées en Allemagne, donnent une huile essentielle très riche en un principe appelé *apiol*, qui est un éther phénolique. Elle renferme en même temps un terpène (*pinène gauche*).

L'essence extraite des semences françaises renferme[2], en même temps que du *pinène* et de l'*apiol*, de la *myristicine*, substance dont la molécule diffère de celle de l'apiol par un groupement OCH^3 en moins. L'essence française a donc ceci de particulier que la myristicine s'y trouve à la place d'une certaine proportion d'apiol.

Influences tératologiques.

A côté de l'influence des facteurs que nous venons d'étudier, dont l'ensemble constitue le climat et qui peuvent, ainsi que nous l'avons vu précédemment, produire des

[1] P. Van Romburgh.
[2] Thoms, 1903, t. XXXVI, p. 3446.

modifications considérables dans la composition des produits odorants des végétaux, il en est d'autres qui, pour être moins étudiées et moins fréquentes, n'en sont pas moins susceptibles de jouer un rôle important.

Divers parasites sont en effet capables de produire. dans la plante, des modifications anatomiques profondes, dont un grand nombre sont fréquemment désignées sous le nom de galles, et aussi d'importantes modifications physiologiques.

On connaît aujourd'hui certains cas de parasitisme susceptibles de se manifester, non seulement par de profondes altérations morphologiques, mais encore par une influence considérable sur la composition de l'essence produite par la plante modifiée.

C'est ainsi que l'on observe fréquemment, dans les plantations de Menthe poivrée des environs de Grasse, des individus absolument transformés; leur aspect général rappele celui des sommités défleuries du Basilic (*Ocimum Basilicum* L.), si bien que les cultivateurs désignent les pieds de Menthe modifiés sous le nom de « Menthe basiliquée ». La transformation est plus ou moins étendue : tantôt tous les rameaux d'une même plante la subissent également, tantôt on observe sur le même pied des rameaux normaux à côté de tiges basiliquées.

Dans tous les cas, il s'agit d'une castration absolue, c'est-à-dire qu'il ne se développe jamais de fleurs, même à l'état d'ébauche, sur les rameaux modifiés. MM. E. Charabot et Ebray[1] ont constaté que cette modification était due à une piqûre d'insecte, et M. Marin

[1] E. Charabot et Ebray, 5, 1898, 3e série, t. XIX, p. 119.



Fig. 1. — 1, Rameau normal de Menthe poivrée. — 2, Rameau basiliqué de Menthe poivrée. (Figure extraite de la *Revue générale de Botanique*. Réduite de moitié environ.)

Molliard[1] a fait une étude approfondie du phénomène. Les tiges qui subissent la transformation et qui par leur disposition sur la plante seraient, dans les conditions normales, terminées par des inflorescences, sont le siège d'une ramification répétée et infiniment végétative ; les dernières tiges qui proviennent de celle-ci portent un grand nombre de petites feuilles pressées les unes contre les autres (Fig. 2. 3, *f*), et auxquelles correspondent des bourgeons *b* qui restent inclus à l'intérieur de ces feuilles axillaires. Ce sont ces nombreuses petites masses foliacées terminales qui donnent aux rameaux modifiés (Fig. 1. 2) leur aspect si caractéristique et si différent par sa compacité, du port léger des rameaux normaux (Fig. 1. 1).

Les grandes feuilles de la base des rameaux basiliqués sont très différentes des feuilles ordinaires ; celles-ci sont très nettement pétiolées ; leurs nervures sont disposées suivant le mode penné, et le contour du limbe offre des dents accentuées. Dans les rameaux basiliqués, ces feuilles apparaissent comme sessiles ; leur nervation a une apparence palmée, et les dents sont à peine visibles ou tout à fait absentes ; de plus, leur forme est élargie et, par suite, moins lancéolée.

La modification qui porte sur la nervation est particulièrement frappante, car on est en présence d'un caractère considéré comme ayant une haute importance dans la classification parce qu'il est ordinairement très peu sujet à variations ; qu'on se rappelle l'emploi qu'on en fait, en se basant sur sa fixité, en paléontologie végétale. En fait, si l'on examine un très grand

[1] Marin Molliard, 1906.

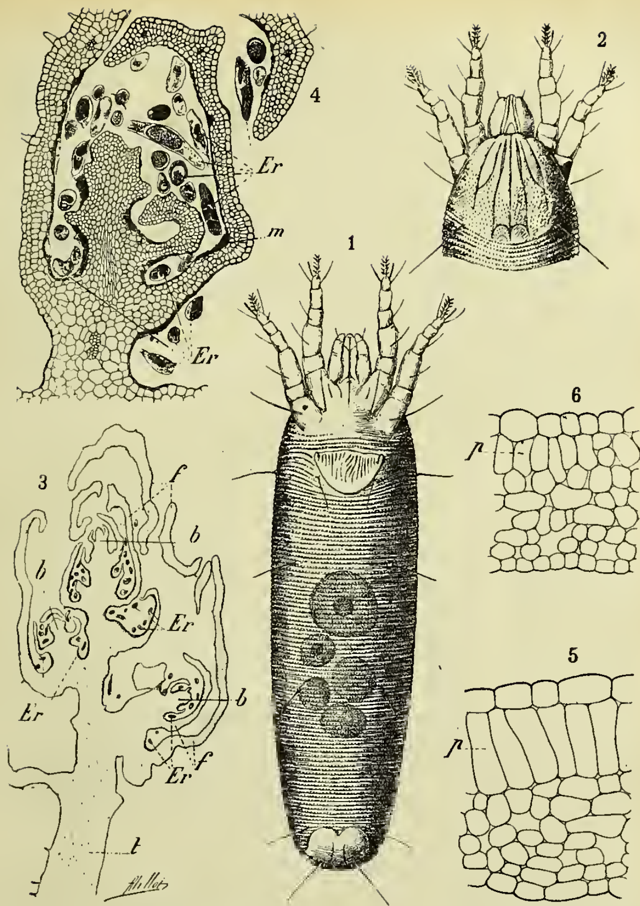


Fig. 2. — 1, *Eriophyes Menthæ* ♀, face ventrale. — 2, *Eriophyes Menthæ* ♀, céphalothorax vu par la face dorsale. — 3, Coupe longitudinale d'une masse foliacée terminale. — 4, Coupe longitudinale d'un bourgeon. Er., *Eriophyes; f*, feuilles; *b*, bourgeons; *m*, cellules mortes. — 5, Coupe du limbe d'une grande feuille normale. — 6, Coupe du limbe d'une grande feuille de la base d'un rameau basiliqué. (Figure extraite de la *Revue générale de Botanique.*)

nombre de feuilles modifiées, il est facile de se rendre compte qu'il existe de nombreux intermédiaires de nervation entre les deux types extrêmes que nous venons d'envisager; la disposition palmée apparaît comme procédant de la nervation normale par la suppression du pétiole et la prédominance que prennent quelques nervures latérales issues de la base du limbe, en même temps que la nervure médiane se ramifie d'une manière moins intense.

Les petites balles foliacées terminales sont constituées par des feuilles ayant les mêmes caractères généraux et présentant de plus nombreux poils unicellulaires disposés sur leur bord, vers leur extrémité; en cela elles rappellent les dernières bractées florales des tiges normales dont elles continuent de différer par leur forme plus trapue, l'irrégularité de leur contour et même de leur surface, qui est irrégulièrement bosselée.

Les tiges des plantes ou portions de plantes transformées perdent aussi rapidement un caractère important, puisqu'il est très général dans tout l'ensemble de la famille des Labiées; de carrée, leur section se rapproche de plus en plus de la forme circulaire, à mesure que la ramification est plus abondante.

A ces modifications extérieures correspond une structure différente pour les deux sortes de feuilles. Si l'on s'adresse aux feuilles les plus comparables, celles de la base des rameaux normaux (Fig, 2. 5), et transformées (Fig. 2. 6), on constate que l'épaisseur du limbe de ces dernières est réduite d'une manière appréciable, ce qui correspond non pas à une diminution dans le nombre des assises cellulaires, mais à une réduction

des dimensions des différents éléments ; le fait est particulièrement frappant pour l'assise palissadique *p*, qui est très peu développée dans la feuille modifiée.

Il est bien évident que les fonctions de la feuille subissent des modifications quantitatives et peut-être qualitatives en même temps que s'observent ces changements de structure ; c'est à de tels changements fonctionnels intimes qu'il faut reporter la stérilité des plantes basiliquées.

C'est, comme nous l'avons dit plus haut, à un cas de parasitisme que se rapportent ces modifications. Si l'on examine attentivement un petit glomérule foliaire terminal, on voit facilement, même à l'œil nu, s'agiter entre les feuilles qui le constituent de nombreux petits Acariens appartenant à un groupe des Phytoptides et au genre *Eriophyes*. La figure 2 représente l'animal femelle vu par sa face ventrale en 1, et par la partie dorsale du céphalothorax en 2.

M. Molliard appelle ce parasite *Eriophyes Menthæ*, espèce nouvelle qui se distinguera facilement de différentes espèces vivant sur d'autres Labiées, auxquelles elles infligent des modifications analogues à celles que subit la Menthe poivrée.

Le travail de M. Molliard établit que, dans des espèces voisines de Phanérogames, appartenant à une même famille très homogène, on observe des cas de parasitisme aboutissant à des modifications comparables de l'hôte, et que les parasites correspondants sont fort peu distincts les uns des autres dans un genre où les caractères des espèces les mieux définies portent déjà sur les détails de structure.

Nous avons décrit les modifications subies par la

plante du fait de l'attaque des Acariens. Ceux-ci envahissent les rameaux dès qu'ils sont sur le point de sortir de terre; les feuilles les plus externes sont les moins modifiées; elles sont rapidement abandonnées par les *Eriophyes*, qui se localisent toujours vers l'extrémité des bourgeons, et elles peuvent acquérir une structure voisine de celle des feuilles normales ; mais les feuilles plus jeunes, qui effectuent tout leur développement en présence des parasites, sont beaucoup plus déviées de leur différenciation ordinaire; les cellules superficielles qui sont constamment soumises à l'action des *Eriophyes* ne tardent pas à périr, à se dessécher, formant une zone noirâtre facilement visible sur une coupe d'un bourgeon terminal (Fig. 2. 3 et 4, *m*).

C'est cette action destructive des parasites dans les glomérules terminaux qui paraît limiter la croissance de la plante.

Très nombreux dans les rameaux basiliqués jusque vers le mois de juillet, les parasites disparaissent peu à peu, et on ne les rencontre plus vers le mois d'août dans les rameaux qu'ils ont transformés. Ils hivernent évidemment dans la terre, près de la souche ou à sa surface même, car un pied une fois modifié réapparaît tous les ans avec la même transformation. Des individus basiliqués envoyés de Grasse et replantés par M. Molliard dans un jardin à Paris se sont montrés, les deux années suivantes, avec des rameaux basiliqués, alors que toutes les parties aériennes des plantes avaient été supprimées avant la mise en terre des rhizomes.

On ne connaît aucun remède pratique contre l'attaque des *Eriophyes*. On se borne actuellement à abandonner la culture de la Menthe poivrée dans les champs

où les pieds basiliqués deviennent trop nombreux ; mais il est bon de faire observer que les rhizomes dont on se servira pour établir de nouvelles cultures devront être choisis dans des champs indemnes de la maladie, ou tout au moins empruntés à des pieds sains et suffisamment éloignés d'individus malades, de manière à diminuer les chances de transport des parasites par les rhizomes ou la terre qui leur est attenante.

Une conséquence physiologique de la castration de la plante sous l'influence du parasitisme a été signalée par M. Charabot. Elle consiste en ce que, dans les pieds basiliqués, l'essence produite est plus abondante, mais de qualité moindre.

L'huile essentielle de la plante basiliquée est beaucoup plus riche en éther que l'essence normale ; par contre, elle renferme au plus des traces de composé cétonique (menthone).

La Menthe contient, à l'état de combinaison avec son principe alcoolique (menthol), deux acides : l'acide acétique et l'acide valérianique. M. Charabot a étudié comparativement les acides combinés au menthol dans la Menthe normale et dans la Menthe basiliquée. Pour cela il a déterminé le poids des sels de potassium des acides provenant de la saponification de quantités des deux essences renfermant un nombre égal de molécules d'éther. Il est arrivé à ce résultat que le mélange des acides combinés est moins riche en acide valérianique dans la Menthe modifiée que dans la Menthe saine.

Résumé et conclusions.

Ainsi que nous venons de le voir, l'étude de l'influence des conditions de sol et de milieu sur la composition des huiles essentielles n'est encore qu'ébauchée. Il est donc difficile de tirer des faits actuellement connus un enseignement immédiat et suffisamment précis pour qu'il puisse être présenté sous la forme de propositions bien définies. La seule chose à retenir, c'est la tendance à l'éthérification, qui se manifeste chez les essences ayant été produites dans un air plus sec ou sous un soleil plus vif, et par conséquent dans les hautes montagnes.

A un point de vue moins étroit, il ressort de ce qui vient d'être dit que, ainsi que nous le laissions prévoir au début de ce chapitre, toute cause venant influencer la nutrition et par conséquent le chimisme d'une plante produit forcément une modification dans la composition de l'huile essentielle qu'elle sécrète.

Une confirmation de ceci se trouve dans ce fait que l'action d'un parasite peut également se faire sentir sur la composition de l'huile essentielle.

M. Molliard[1], dans une remarquable étude qu'il vient de publier, montre comment il est possible, en modifiant artificiellement les conditions de la nutrition d'un végétal, de reproduire chez certains organes végétaux des modifications dues ordinairement à l'action du milieu ou à celle d'un parasite. C'est ainsi qu'il obtient, sur le Radis cultivé dans des conditions parfaites

[1] Marin Molliard, 1907, t. XIX, p. 241.

d'aseptie, et dans un milieu convenable, des tiges dont la structure rappelle celle des rhizomes. La même plante, dans des conditions spéciales, donne encore, à la volonté de l'expérimentateur, des individus tubérisés ou non.

Ceci montre l'intérêt qu'il y aurait à poursuivre de semblables études sur la production des essences, et à se rendre compte ainsi des conditions de nutrition favorables à la formation de tel ou tel composé.

Sans parler de l'intérêt pratique que pourraient avoir de semblables études, elles apporteraient à la science une précieuse contribution à la connaissance de la biochimie des parfums dans le règne végétal.

CHAPITRE II

DISTRIBUTION DES HUILES ESSENTIELLES DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL

Nous avons défini les huiles essentielles, décrit les méthodes générales d'extraction qui leur sont applicables, et indiqué les variations qu'elles peuvent subir dans leur composition, toutes questions se rattachant étroitement à la connaissance des matières dont nous nous proposons de faire l'étude chez la plante. Nous allons maintenant nous occuper de la distribution de ces matières dans le règne végétal.

En premier lieu, nous considérerons les huiles essentielles elles-mêmes, pour nous occuper ensuite de chacun de leurs principes constitutifs.

Répartition des plantes à essences entre les diverses familles botaniques.

Dans le catalogue que nous allons dresser, nous ne pourrons évidemment pas comprendre toutes les espèces odoriférantes. Il faudrait, pour cela, soumettre à un examen spécial les différents organes de tous les représentants connus du règne végétal. Nous serons

donc contraints de nous borner à l'énumération des plantes dont les huiles essentielles ont été extraites et mentionnées. Encore qu'incomplets, les tableaux que nous serons ainsi conduits à dresser donneront une idée assez exacte de la distribution des essences dans la nature. Il est, en effet, hors de doute que, dans la recherche des matières odorantes, c'est la qualité ou l'abondance du parfum qui a toujours guidé, et non pas l'individualité de la plante qui élabore ce parfum.

Les végétaux dont les huiles essentielles ont été extraites seront groupés d'après les familles auxquelles ils appartiennent et énumérés dans l'ordre adopté dans l'*Index Phanerogamorum* de Durand[1].

Nous désignerons chaque plante par son nom latin et, lorsqu'il y a lieu, par son nom usuel ou indigène, en indiquant la nature de l'organe ou des organes d'où l'on extrait le plus communément l'essence, de sorte que la mention de telle ou telle partie de la plante n'exclura pas l'existence de produits odorants en d'autres points.

FAMILLE DES RENONCULACÉES

Nigella sativa L. (semences).

Nigella damascena L. (semences).

Pæonia Moutan Sims, Pivoine Moutan (écorce des racines).

[1] Durand.

FAMILLE DES MAGNOLIACÉES

Drimys Winteri Forst. (écorce).

Illicium verum Hook. Badiane ou Anis étoilé (fruits et feuilles).

Illicium religiosum Sieb. et Zucc., Shikimi (feuilles).

Magnolia Kobus D. C., Kobushi (feuilles et tiges).

Magnolia fuscata Andrews.

Michelia longifolia Blume, Champaca (fleurs).

Michelia Champaca L., Champaca (fleurs).

FAMILLE DES ANONACÉES

Cananga odorata Hook., Ylang-ylang (fleurs).

Monodora citriodora Cerv.

FAMILLE DES CRUCIFÈRES

Ce n'est généralement pas à l'état de liberté que l'on rencontre les huiles essentielles dans cette famille. Nous verrons en effet, dans un chapitre suivant, qu'elles se trouvent engagées dans des combinaisons avec le glucose, combinaisons susceptibles d'être dédoublées par un ferment enfermé dans des cellules voisines. Cette remarque faite, énumérons les espèces principales qui ont fourni des huiles essentielles, sans préjudice de quelques documents complémentaires que l'on trouvera plus loin.

Lepidium sativum L., Cresson des jardins (herbe et semences).

Nasturtium officinale L., Cresson de fontaine (herbe).
Thlaspi arvense L., Tabouret (herbe et graines).
Cardamine amara L. (plante entière).
Cochlearia Armoriaca L., Raifort (racines).
Cochlearia officinalis L., Cochléaire (herbe).
Alliaria officinalis Andr., Alliaire (racines et semences).

Sinapis nigra L.
Sinapis juncea L. } Moutarde (semences).

Sinapis alba L., Moutarde blanche (semences).

Raphanus sativus L.
Raphanus niger Mill. } Radis (racine et semences).

FAMILLE DES RÉSÉDACÉES

Ce que nous avons dit au sujet de la famille des Crucifères s'applique aussi aux représentants de la famille des Résédacées.

Reseda odorata L., Réséda (fleurs et racines).

FAMILLE DES CISTACÉES

Cistus creticus L. (feuilles).
Cistus ladaniferus L. (feuilles).
Cistus monspeliensis L. (feuilles).
Cistus salvifolius L. (feuilles).

FAMILLE DES VIOLACÉES

Viola odorata L., Violette (fleurs).

FAMILLE DES CANELLACÉES

Canella alba Murray, Cannelle blanche (écorce).

FAMILLE DES PITTOSPORACÉES

Pittosporum undulatum Vent. (fruits).

FAMILLE DES POLYGALACÉES

Avant d'énumérer les espèces de cette famille dont les huiles essentielles ont été extraites, nous ferons remarquer que M. Bourquelot a démontré la non-préexistence du principe odorant chez la plante, et sa formation sous l'influence d'un ferment, ainsi que nous l'indiquerons plus loin.

Polygala calcarea Schultz (racines).
Polygala vulgaris L. (racines).
Polygala variabilis Kunth. (racines).
Polygala Senega L., Polygala de Virginie (racines).
Polygala depressa Wend. (racines).
Polygala nemorivaga Pomel (racines).
Polygala oleifera Heckel (racines).

FAMILLE DES CARYOPHYLLACÉES

Dianthus Caryophyllus L., Œillet (fleurs).

FAMILLE DES TERNSTRŒMIACÉES

Thea chinensis Sims, Thé (feuilles).

FAMILLE DES DIPTÉROCARPACÉES

Dryobalanops Camphora Colebr., Camphrier de Bornéo (bois).

Dipterocarpus turbinatus Gærtn.
Dipterocarpus incanus Roxb.
Dipterocarpus Alatus Roxb.
} Gurjum (bois).
Dipterocarpus grandiflorus Blanco (bois).
Dipterocarpus verniciflorus Blanco (bois).

FAMILLE DES MALVACÉES

Hibiscus Abelmoschus L., Ambrette (graines).

FAMILLE DES TILIACÉES

Tilia ulmifolia Scop., Tilleul (fleurs).

FAMILLE DES LINACÉES

Erythroxylon Coca Lamk., Coca (feuilles).
Erythroxylon monogynum Roxb. (bois).

FAMILLE DES ZYGOPHYLLACÉES

Bulnesia Sarmienti Lorenz., Gayac (bois).

FAMILLE DE GÉRANIACÉES

Pelargonium odoratissimum Willd.
Pelargonium capitatum Ait.
Pelargonium roseum Wild. = *P. Radula* L'Hérit.
} Géranium (herbe).
Tropæolum majus L., Capucine (feuilles et fleurs).

FAMILLE DES RUTACÉES

Xanthoxylum piperitum D. C., Poivrier du Japon (fruits).

Xanthoxylum Hamiltonianum Wall. (fruits).

Xanthoxylum acanthopodium D. C., Wartara (fruits).

Fagara octandra L. (bois).

Evodia simplex Cordem. (feuilles et racines).

Ruta graveolens L., Rue (herbe).

Barosma betulinum Bartl.
Barosma crenulatum Hook. } Bucco (feuilles).
Barosma serratifolium Willd.

Empleurum serrulatum Ait. (feuilles).

Pilocarpus Jaborandi Holmes, Jaborandi (feuilles).

Cusparia trifoliata Engl., Cuspare (écorce).

Toddalia aculeata Lam. (plante entière).

Amyris balsamifera L., Santal des Indes occidentales (bois).

Clausena Willdenowii Wight et Arn.

Les divers agrumes dont l'essence a pu être extraite sont des sous-espèces des trois espèces suivantes :

Citrus Aurantium L., *Citrus medica* L., *Citrus nobilis* Lour.

On a souvent donné des noms spécifiques aux variétés utiles :

1° *Citrus Aurantium* L.

a) Subspec. *amara* L. = *Citrus Bigaradia* Duhamel, Oranger à fruits amers (fleurs, fruits, feuilles et tiges).

b) Subspec. *Bergamia* Risso et Poiteau, Bergamotier (fruits, feuilles et tiges).

Il existe dans cette sous-espèce une variété : *Citrus Limetta* Risso, Limettier (fleurs, fruits, feuilles et tiges).

c) Subspec. *sinensis* Gall = *Citrus Aurantium* L.

α-var. *dulcis* L., Oranger à fruits doux (fleurs, fruits, feuilles et tiges).

β-var. *decumana* L., Pamplemousse (fruits).

2° *Citrus medica* L.

a) Subspec. *Bajoura* Bonavia, Cédratier (fruits).

b) Subspec. *Limonum* Hook., Citronnier (fruits, feuilles et tiges).

Var. *acida* Brandis, Limettier des Indes occidentales.

3° *Citrus nobilis* Lam., Mandarinier (fruits, feuilles et tiges).

FAMILLE DES BURSÉRACÉES

Canarium luzonicum (Miq.) A. Gray, Elémi (bois résineux).

Canarium Cumingii Engl.

Dacryodes hexandra Gries. (bois résineux).

Boswellia Carterii Birdw., Encens (bois résineux).

Bursera Delpechiana Poisson, Linaloé (bois et graines).

Balsamodendron Kafal Kunth, Opoponax du commerce (bois résineux).

Commiphora abyssinica Engl. } Myrrhe (bois résineux).
Commiphora Schimperi Engl. }

FAMILLE DES MÉLIACÉES

Cedrela odorata L. (bois).

FAMILLE DES ANACARDIACÉES

Pistacia Lentiscus L., Lentisque (suc du tronc).
Pistacia Terebinthus L. (suc du tronc).
Schinus molle L., Faux poivrier (fruits).
Baronia polygalifolia Sm.

FAMILLE DES LÉGUMINEUSES

Genista tridentata L., Carqueja.
Melilotus, plusieurs espèces ; mais c'est le M. *officinalis* Lam. qui possède des fleurs odorantes.
Psoralea bituminosa L. (feuilles).
Amorpha fruticosa L.
Indigofera galegoïdes D. C. (herbe).
Myroxylon perniferum L. (feuilles et bois).
Myroxylon Pereiræ Klotzsch (Baume du Pérou).
Myroxylon balsamum Mill., Tolu (suc du bois).
Myrocarpus fastigiatus Fr. Allem, Cabriuva (bois).
Cæsalpina Sappan L., Brésillet (feuilles).

Sindora Wallichii Benth. *Copaïfera officinalis* L. *Copaïfera guyanensis* Desf. *Copaïfera coriacea* Mart. *Copaïfera Lansdorfii* Desf. *Copaïfera confertiflora* Benth. *Copaïfera oblongifolia* Mart. *Copaïfera rigida* Benth.	Copahu (suc du tronc).
Acacia cavenia Bert. *Acacia Farnesiana* Willd.	Cassie.

Dipteryx odorata Willd. (fruit appelé fève Tonka).

FAMILLE DES ROSACÉES

De nombreuses plantes de cette famille renferment des glucosides susceptibles de donner, par dédoublement, du glucose, de l'aldéhyde benzoïque et de l'acide cyanhydrique. Nous reviendrons plus loin sur cette question. Énumérons les principales espèces dont on extrait des huiles essentielles :

Prunus Persica Jess., Pêcher (noyau).
Prunus Cerasus L.. Cerisier (noyau).
Prunus domestica L., Prunier (noyau).
Prunus spinosa L., Prunellier (feuilles et fleurs).
Prunus virginiana L. (écorce et feuilles).
Prunus Laurocerasus L., Laurier-cerise (feuilles).
Prunus Padus L. (écorce).
Amygdalus communis L., Amandier (fruits).
Spiræa Ulmaria L., Reine des prés (fleurs, racines, herbe).
Geum urbanum L., Benoîte (racines).
Rosa damascena Mill. }
Rosa centifolia L. } Rosier (fleurs).
Rosa alba L. }

FAMILLE DES SAXIFRAGACÉES

Philadelphus coronarius L.. Seringat (fleurs).

FAMILLE DES HAMAMÉLIDACÉES

Altingia excelsa Noranha (bois).
Liquidambar orientalis Mill., Styrax (bois).
Liquidambar styraciflua L. (bois).

FAMILLE DES MYRTACÉES

Darwinia fascicularis Rudge (feuilles et tiges).
Darwinia taxifolia A. Cunn. (feuilles et tiges).
Leptospermum liversidgei Baker et Smith (feuilles et tiges).

Melaleuca, nombreuses espèces, notamment	*M. Leucadendron* L., Cajeput (feuilles et tiges). *M. viridiflora* Brong. et Gris. Niaouli (feuilles et tiges).

Eucalyptus, nombreuses espèces (feuilles et tiges).
Backhousia citriodora F. Müller (feuilles et tiges).
Calypthranthes paniculata Ruiz. et Pav.
Pimenta officinalis Lindl., Piment, Poivre-giroflée, ou tout-épice (baies et feuilles).
Pimenta acris Kastel, Bay (feuilles).
Eugenia caryophyllata Thunb., Giroflier (fleurs).
Myrtus communis L., Myrte (feuilles, fruits).
Myrtus Cheken Sprengel (feuilles).

FAMILLE DES LYTHRACÉES

Lawsonia inermis L., Henné (fleurs).

FAMILLE DES TURNÉRACÉES

Turnera aphrodisiaca Ward. *Turnera diffusa* Willd.	Damiana (feuilles).

FAMILLE DES OMBELLIFÈRES

Les plantes odoriférantes sont nombreuses dans cette famille. Très souvent l'huile essentielle y est distribuée dans tous les organes ; mais les fruits sont particulièrement riches en produits aromatiques.

Eryngium campestre L. (herbe).

Apium graveolens L., Céleri (feuilles et graines).

Petroselinum sativum L., Persil (racines, feuilles et graines).

Cicuta virosa L., Ciguë vireuse (racines et fruits).

Conium maculatum L. (fruits), Grande Ciguë.

Carum Carvi L., Carvi (herbe et fruits).

Carum Ajowan Benth. et Hook., Ajowan (herbe et fruits).

Pimpinella Anisum L., Anis (fruits).

Pimpinella saxifraga L. (*P. nigra* Mill.), Pimprenelle (racines).

Osmorrhiza longistylis D. C. (racines).

Cerefolium sativum Bess., Cerfeuil (herbe et graines).

Athamanta Oreoselinum L., Persil de montagne (herbe).

Œnanthe Phellandrium Lam. (*Phellandrium aquaticum* L.), Fenouil d'eau (fruits).

Silaus pratensis Bess., Silave (fruits).

Meum athamanticum Jacq. (racines).

Pseudocymopterus anisatus Coult.

Levisticum officinale Koch (*Ligusticum Levisticum* L.), Livèche (racine, herbe, graines).

Angelica Archangelica L., Angélique (racines, herbe, graines).

Angelica refracta Fr. Schmidt } Angélique du Japon (racines).
Angelica anomala Lall.

Ferula Opoponax Spreng., Opoponax vrai.

Ferula Assa fœtida L., Assa fœtida.

Ferula rubricaulis Boissier } Galbanum (gomme des tiges et rameaux).
Ferula galbaniflua Boissier et Buhse

Ferula Sumbul Hook., Sumbul (racine).

Dorema Ammoniacum D. Don, Gomme ammoniaque (résine résultant d'une piqûre d'insecte).

Peucedanum Ostrutium L., Impératoire (racines).

Peucedanum grande C. B. Clarke (fruits).

Peucedanum officinale L. (racines).

Pastinaca sativa L., Panais (racines et fruits).

Anethum Fœniculum L., Fenouil (herbe, fruits).

Anethum graveolens L., Aneth (herbe, fruits).

Anethum Sowa D. C., Aneth des Indes orientales (fruits[1]).

Heracleum Sphondylium L., Berce (fruits).

Heracleum giganteum Fisch. (fruits).

Coriandrum sativum L., Coriandre (fruits).

Cuminum Cyminum L., Cumin (fruits).

Daucus Carota L., Carotte (racine et fruits).

FAMILLE DES ARALIACÉES

Aralia nudicaulis Blume (rhizomes).

[1] Flückiger et Hanbury, in *Pharmacographia,* ne considèrent pas l'Aneth des Indes orientales comme une espèce distincte; mais il y a lieu de l'envisager, ainsi que celui du Japon, comme appartenant à un genre spécial, tant à cause de ses caractères botaniques différents que de la composition de son essence. (Umney, t. lxi, p. 176.)

FAMILLE DES CAPRIFOLIACÉES

Sambucus nigra L., Sureau (fleurs).

FAMILLE DES RUBIACÉES

Gardenia, nombreuses espèces. Gardénia (fleurs).
Chione glabra D. C., Palo blanco (bois).
Coffea arabica L., Café d'Arabie (fruits).
Asperula odorata L., Aspérule odorante.

FAMILLE DES VALÉRIANACÉES

Nardostachys Jatamansi D. C. (rhizomes).
Valeriana officinalis L., Valériane (racines).
Valeriana officinalis L. var. *angustifolia* Miq.. Valériane du Japon ou Kesso (racines).
Valeriana celtica L., Nard ou Valériane celtique (racines).

FAMILLE DES COMPOSÉES

La famille des Composées est une de celles qui renferment le plus grand nombre de plantes à essences.
Ageratum conyzoïdes L. (herbe).
Eupatorium Capillifolium (Lam.) Small., Fenouil des chiens (parties aériennes).
Eupatorium triplinerve Wall., Ayapana.
Liatris odoratissima Will.
Solidago canadensis L. } Solidage
Solidago odora Ait. } (parties aériennes).

Solidago rugosa Mill. (herbe).

Erigeron canadense L. (herbe).

Blumea balsamifera D. C. (parties aériennes).

Blumea lacera D. C. (plante entière).

Sphæranthus indicus L. (racines).

Helichrysum Stæchas D. C., Immortelle (parties aériennes).

Helichrysum angustifolium D. C. (parties aériennes).

Inula Helenium L., Aunée (racines).

Inula viscosa Ait. (parties aériennes).

Inula graveolens Desf.

Osmitopsis asteriscoïdes Cass. (herbe).

Ambrosia artemisiæfolia L. (parties aériennes).

Dahlia variabilis Desf., Dahlia (Bulbes).

Anthemis nobilis L., Camomille romaine (fleurs).

Anthemis Cotula L., Camomille des chiens (fleurs).

Achillea Millefolium L., Millefeuille (fleurs).

Achillea nobilis L., Millefeuille noble (herbe, fleurs, graines).

Achillea moschata Wulfen, Iva (parties aériennes).

Achillea coronopifolia Willd.

Achillea Ageratum L. (parties aériennes).

Chrysanthemum indicum L. (feuilles).

Matricaria Chamomilla L., Camomille des champs (fleurs).

Matricaria Parthenium L., Matricaire (parties aériennes).

Tanacetum vulgare L., Tanaisie (parties aériennes).

Tanacetum Balsamita L., Balsamite (parties aériennes).

Tanacetum boreale Fisch. (herbe).

Artemisia vulgaris L., Armoise (plante entière).

Artemisia vulgaris L. du Japon, Yomugi (plante entière).

Artemisia frigida Willd. (herbe).

Artemisia Absynthium L., Absinthe (plante entière).

Artemisia Ludoviciana Nutt. (herbe).

Artemisia Dracunculus L., Estragon (herbe).

Artemisia caudata Michx (herbe).

Artemisia variabilis Tenore.

Artemisia annua L. (herbe).

Artemisia maritima L. var. Stechmann, Semen-contra (bourgeons floraux).

Artemisia gallica Willd. (herbe).

Artemisia Barrelieri Bess. (herbe).

Arthemisia glacialis L., Genépi des Alpes (herbe).

Artemisia herba alba Asso.

Petasites officinalis Mœnch. (racines).

Erechthites hieracifolia Raf. (herbe).

Arnica montana L., Arnica (racines et fleurs).

Carlina acaulis L., Carline (racinès).

Atractylis ovata Thunb.

FAMILLE DES ÉRICACÉES

Ledum palustre L., Lédon (plante entière).

Gaultheria procumbens L., Wintergreen (plante entière).

Gaultheria punctata Blume (feuilles).

Gaultheria leucocarpa Blume (feuilles).

FAMILLE DES MONOTROPÉES

Monotropa Hypopitys L. (parties aériennes).

FAMILLE DES PRIMULACÉES

Primula veris L., Primevère (racines).

FAMILLE DES STYRACÉES

Styrax benzoin Dryander, Benjoin (*résine*).

FAMILLE DES OLÉACÉES

Jasminum grandiflorum L., Jasmin (fleurs).

FAMILLE DES CONVOLVULACÉES

Convolvulus scoparius L. (racines).
Convolvulus floridus L. (racines).

FAMILLE DES VERBÉNACÉES

Lantana Camara L. (herbe).
Verbena triphylla L'Hérit., Verveine (plante entière).
Vitex trifolia L. (feuilles).

FAMILLE DES LABIÉES

Nombreuses sont les plantes à parfums appartenant à cette famille.

Ocimum Basilicum L., Basilic (parties aériennes).
Ocimum canum Sims.
Hyptis spicata Poit.
Lavandula vera D. C., Lavande (parties aériennes).
Lavandula spica D. C., Aspic (parties aériennes).
Lavandula Stœchas L. (parties aériennes).
Lavandula dentata L. (parties aériennes).
Lavandula pedunculata Cav. (parties aériennes).

Pogostemon comosus Miq. (feuilles).

Pogostemon Patchouly Pellet, Patchouli (feuilles).

Mosla japonica Maxim. (herbe).

Mentha viridis L. (*M. crispa* Roth.), Menthe crépue ou M. verte d'Amérique, d'Allemagne et de Russie (parties aériennes).

Mentha citrata Ehrh. (parties aériennes).

Mentha aquatica L., Menthe aquatique (parties aériennes).

Mentha arvensis L., Menthe sauvage (parties aériennes).

Mentha arvensis L. var. *piperascens,* Menthe poivrée du Japon (parties aériennes).

Mentha canadensis L., Menthe du Canada (parties aériennes).

Mentha Pulegium L., Menthe Pouliot (parties aériennes).

Mentha piperita L., Menthe poivrée (parties aériennes).

Lycopus virginicus L. (herbe).

Cunila Mariana L. (herbe).

Bystropogon origanifolius L'Hérit.

Pycnanthemum lanceolatum Pursh. (herbe).

Pycnanthemum incanum Michx (herbe).

Origanum vulgare L., Origan (parties aériennes).

Origanum Majorana L., Marjolaine (parties aériennes).

Origanum hirtum Link., Origan de Trieste (herbe).

Origanum smyrnæum L., Origan de Smyrne (herbe).

Origanum Dictamnus L.

Thymus vulgaris L., Thym (parties aériennes).

Thymus Serpyllum L., Serpolet (parties aériennes).

Thymus capitatus Hoffmgg. et Link (herbe).

Satureia hortensis L., Sarriette des jardins (parties aériennes).

Satureia montana L., Sarriette des montagnes (herbe).
Satureia Thymbra L.
Hyssopus officinalis L., Hysope (herbe).
Hedeoma pulegioïdes Pers., Pouliot d'Amérique (tiges et feuilles).
Calamintha Nepeta Savi.
Melissa Calamitha L.
Melissa officinalis L., Mélisse (parties aériennes).
Salvia officinalis L., Sauge (parties aériennes).
Salvia sclarea L., Sauge sclarée (parties aériennes).
Salvia triloba L.
Monarda punctata L. }
Monarda didyma L. } Monarde (herbe).
Monarda fistulosa L. }
Monarda citriodora Cerv. (herbe).
Rosmarinus officinalis L., Romarin (parties aériennes).
Lophanthus anisatus Benth. (herbe).
Nepeta Cataria L.
Glechoma hederacea L., Lierre terrestre (feuilles).

FAMILLE DES CHÉNOPODIACÉES

Chenopodium ambrosioïdes L. var. *anthelminticum* Gray, Semen-contra d'Amérique (plante entière).

FAMILLE DES POLYGONACÉES

Polygonum Persicaria L., Persicaire.

FAMILLE DES ARISTOLOCHIACÉES

Asarum europæum L., Asaret (racines).
Asarum canadense L., Serpentaire du Canada (racines).

Asarum arifolium Michx (racines et feuilles).

Asarum Blumei Duch.

Aristolochia Serpentaria L., Serpentaire de Virginie (racines).

Aristolochia reticulata Nutt. (racines).

Aristolochia Clematitis L. (plante entière).

FAMILLE DES PIPÉRACÉES

Piper nigrum L., Poivre (baies).

Piper lungum L., Poivre long noir (baies).

Piper ovatum Vahl. (feuilles).

Piper Lowong Blume (fruits).

Piper Clusii C. D. C., Poivre des Aschantis (fruits).

Piper Cubeba L., Cubèbe (baies).

Piper angustifolium Ruiz et Pav., Matico (feuilles).

Pipea Betle L., Bétel (feuilles).

Piper Volkensii C. D. C.

Potomorphe (*Piper*) *umbellata* Miq. (feuilles).

Arthranthe geniculata Miq., *Piper geniculatum* Sw. (feuilles).

Ottonia anisum Spreng., *Piper Jaborandi* Vell. (racines).

FAMILLE DES MYRISTICACÉES

Myristica officinalis L., Muscadier (fruit).

FAMILLE DES MONIMIACÉES

Peumus Boldus Molina, Boldo (feuilles).

Citriosma oligandra Tul. (feuilles et écorce).

Citriosma cujabana Mart. (feuilles et écorce).
Citriosma Apiosyce Mart. (feuilles et écorce).
Espèce non déterminée, Para-coto (écorce).

FAMILLE DES LAURACÉES

Cryptocarya moschata Nees (fruits).

Criptocarya pretiosa Mart., Laurier-nèfle (écorce).

Cinnamomum zeylanicum Nees, Cannelle de Ceylan (racines, écorce, feuilles).

Cinnamomum Cassia Siebold, Cannelle de Chine (tiges, pétioles, feuilles).

Cinnamomum Loureirii Nees, Cannelle du Japon (toutes les parties du végétal).

Cinnamomum Kiamis Nees (écorce).

Cinnamomum Culilawan Blain, Culilawan (écorce).

Cinnamomum pedunculatum Nees (écorce).

Cinnamomum Wightii Meissn. (écorce).

Cinnamomum Oliveri F. M. Bailey (écorce).

Cinnamomum pedatinervium Meissn. (écorce).

Persea caryophyllata Mart., Cannelle giroflée (écorce).

Persea gratissima Gærtn., Avocatier (feuilles).

Ocotea usabarensis Engl. (écorce).

Ocotea caudata Mez., Bois de rose (bois).

Ocotea spec. ?, Laurier de la Guyane (bois).

Nectandra Puchury Nees, Puchurim (cotylédons).

Nectandra Caparrapi, Caparrapi ou Canelo (exsudation du tronc).

Nectrandra spec. ?, Camphrier du Venezuela (bois).

Sassafras officinale Nees et Eberm., Sassafras (bois et feuilles).

Laurus camphora L., Camphrier (bois et feuilles).

Laurus nobilis L., Laurier (feuilles et baies).

Laurus Benzoin L., Laurier-benjoin (toutes les parties du végétal).

Tetranthera polyantha var. *citrata* Nees (écorce, feuilles et fruits).

Umbellularia californica Nutt., Laurier de Californie (toutes les parties du végétal).

Lindera sericea Blume, Kuro-moji (toutes les parties du végétal).

Espèce inconnue, Massoy (écorce).

Espèce inconnue, « Apopine. »

FAMILLE DES THYMÉLÉACÉES

Gonostylus Miquelianus T. et B. (bois).

FAMILLE DES SANTALACÉES

Santalum album L., Santal des Indes orientales (bois).

Santalum Preissianum Miq., Santal de l'Australie méridionale (bois).

Santalum Cygnorum Miq., Santal de l'Australie occidentale (bois).

Santalum Yasi Seen., Santal de Fidschi (bois).

Santalum spec., Santal d'Afrique (bois).

FAMILLE DES EUPHORBIACÉES

Croton Eluteria Bennett, Cascarille (écorce).

Stillingia sylvatica L. (racines).

FAMILLE DES URTICACÉES

Humulus Lupulus L.. Houblon (cônes).
Cannabis sativa L.
Cannabis indica Lamk. } Chanvre (herbe).
Pilea spec.

FAMILLE DES JUGLANDACÉES

Juglans regia L., Noyer (feuilles).

FAMILLE DES MYRICACÉES

Myrica Gale L. (feuilles).
Myrica cerifera L. Bayberry (feuilles).
Myrica asplenifolia Endl., Sweet Fern (feuilles)

FAMILLE DES BÉTULACÉES

Betula lenta L., Bouleau (écorce).

FAMILLE DES SALICACÉES

Populus nigra L., Peuplier (bourgeons).

FAMILLE DES BURMANNIACÉES

Icica heptaphylla Aubl., Conima (résine).

FAMILLE DES ORCHIDACÉES

Aceras anthropophora R. Br.

Angræcum fragans Thon. (feuilles).

Vanilla planifolia Andr., Vanillier (gousses).

Vanilla pompona Schiede, Vanillon de la Guadeloupe.

Vanilla Gardneri Rolfe, Vanille du Brésil.

Vanilla appendiculata Rolfe.

Vanilla odorata Presl.

Vanilla phæantha Rchb., Vanille de la Jamaïque.

FAMILLE DES ZINGIBÉRACÉES

Kæmpferia Galanga L. (racines).

Kæmpferia rotunda L. (racines).

Hedychium coronarium Kœn. (fleurs).

Curcuma longa L., Curcuma (racines).

Curcuma Zedoaria Roscœ, Zédoaire (tubercules).

Amomum Cardamomum L., Cardamome de Siam (graines).

Amomum Melegueta Roscœ, graine de Paradis (graines).

Amomum aromaticum Roxb., Cardamome du Bengale (fruits).

Amomum spec., Cardamome du Cameroun (fruits).

Amomum angustifolium Sonner., Cardamome de Korarima (racines, feuilles et fruits).

Amomum Mola K. Schum.

Elettaria Cardamomum White et Maton, Cardamome de Ceylan, de Malabar, de Madras (fruits).

Zingiber officinale Roscœ, Gingembre (rhizomes).
Alpinia Galanga Salisb., Galanga (rhizomes).
Alpinia Malaccensis Roscœ (rhizomes).
Alpinia nutans Roscœ (racines).

FAMILLE DES IRIDACÉES

Iris florentina L.
Iris pallida L. } Iris (rhizomes).
Iris germanica L.
Crocus sativus L., Safran (styles).

FAMILLE DES AMARYLLIDACÉES

Polianthes tuberosa L., Tubéreuse (fleurs).
Narcissus Tazetta L., Narcisse (fleurs).
Narcissus Jonquilla L., Jonquille (fleurs).

FAMILLE DES LILIACÉES

Aloë vulgaris Lamk., Aloès.
Xanthorrhœa hastile R. Br., Xanthorrhée.
Allium sativum L., Ail (plante entière).
Allium Cepa L., Oignon (plante entière).
Allium ursinum L., Ail des ours (plante entière).
Scilla festalis Salisb. (*Endymion nutans* Dum.), Jacinthe sauvage.
Schœnocaulon officinale A. Gray, Cévadille (graines).

FAMILLE DES PANDANACÉES

Pandanus odoratissimus Hort., Vaquois (fleurs).

FAMILLE DES ARACÉES

Acorus Calamus L., Acore (racines).

FAMILLE DES GRAMINÉES

Nous avons à signaler plusieurs espèces odorantes du genre *Andropogon*. Récemment M. le Dr Otto Stapf[1] a publié une étude du plus haut intérêt sur les diverses espèces d'Andropogon. Il a fait une division en trois genres, dont voici les espèces :

Cymbopogon Schœnanthus Spreng. (*Andropogon Schœnanthus* L., *A. laniger* Desf., *A. Iwarancusa* subsp. *laniger* Hook. f.). Ne pas confondre cette plante (*Andropogon Schœnanthus* L.) avec l'*A. Schœnanthus* Flück. et Hanb., qui est le Palma rosa.

Cymbopogon Iwarancusa Schult. (*Andropogon Iwarancusa* Jones).

Cymbopogon Nardus Rendle (*Andropogon Nardus* L.), Citronnelle (herbe). Il en existe deux variétés : le « Maha pangiri » et le « Lana batu ».

Cymbopogon confertiflorus Stapf (*Andropogon confertiflorus* Steud., *A. nilagiricus* Hochst., *A. Nardus* var. *nilagiricus* Hack.).

Cymbopogon flexuosus Stapf (*Andropogon flexuosus* Nees ex Steud., *A. Nardus* var. *flexuosus* Hack.), Lemon grass de Malabar ou de Travancore (herbe).

Cymbopogon coloratus Stapf (*Andropogon coloratus* Nees, *A. Nardus* var. *coloratus* Hook. f.).

[1] Otto Stapf, 1906, n° 8, p. 297.

Cymbopogon citratus Stapf (*Andropogon citratus* D. C., *A. citriodorum* Desf., *A. Roxburghii* Nees, *A. ceriferus* Hack., *A. Schœnanthus* L., *A. Nardus* var. *ceriferus* Hack., *Schœnanthum amboïnicum* Rumph.), Lemon grass (herbe).

Cymbopogon Martini Stapf (*C. Martinianus* Schult., *A. Martini* Roxb., *A. pachnodes* Trin., *A. Calamus aromaticus* Royle, *A. nardoïdes*, *α*, Nees, *A. Schœnanthus* Flück. et Hanb. [et non L.], *A. Schœnanthus* var. *genuinus* Hack., *A. Schœnanthus* var. *Martini* Hook. f.), Palma rosa (herbe). Il existe deux dérivés bâtards de cette plante : le « Sofia » (Ginger grass) et le « Motia » (Palma rosa).

Cymbopogon cæsius Stapf (*Andropogon cæsius*, *α* et *β*, Nees, *A. Schœnanthus* var. *cæsius* Hack.).

Cymbopogon polyneuros Stapf (*A. polyneuros* Steud., *A. versicolor* Nees, *A. Schœnanthus* var. *versicolor* Hack., *A. nardoïdes* B. *minor* Nees ex Steud.).

Vetiveria zizanioïdes Stapf (*Andropogon muricatus* Retz, *A. squarrosus* Hack., *Vetiveria muricata* Griseb., etc.), Vétiver (racines).

Andropogon odoratus Lisb.

A la même famille appartient l'*Anthoxanthum odoratum* L., Flouve odorante.

FAMILLE DES ABIÉTACÉES

Pinus, nombreuses espèces, Pins (suc du tronc, aiguilles, bourgeons).

Cedrus Libani Barrel., Cèdre du Liban (bois).

Cedrus Atlantica Manetti, Cèdre de l'Atlas.

Larix europæa D. C. (*Larix decidua* Mill.), Mélèze (suc du tronc. feuilles).

Larix americana Michx.

Picea excelsa Lamk.. Sapin rouge (aiguilles et cônes).

Picea nigra Link (*Picea rubra* A. Dietr.) (aiguilles et cônes).

Tsuga canadensis Carr. (*Picea canadensis* Link) (aiguilles et cônes).

Abies alba Mill. (*Abies pectinata* D. C.), Sapin argenté.

Abies balsamea L.
Abies canadensis Michx
Abies Fraseri Pursh. } Baume du Canada.

Abies cephalonica Link (*Abies Reginæ Amaliæ* Heldr.) (bourgeons).

Sequoïa gigantea Torrey, Arbre géant de Californie (aiguilles).

Cryptomeria japonica D. Don.

FAMILLE DES CUPRESSACÉES

Callitris quadrivalvis Vent., Sandaraque (résine).

Thuya (*Biota*) *orientalis* L. (racines).

Thuya occidentalis L., Thuya (rameaux).

Thuya articulata Wahl.

Thuya plicata Donn.

Cupressus sempervirens L., Cyprès (rameaux).

Cupressus Lambertiana Hort. (*C. macrocarpa* Hartw.) (feuilles).

Chamæcyparis obtusa Sieb. et Zucc., Hinoki (feuilles).

Juniperus communis L.
Juniperus oxycedrus L. } Genévrier (baies).

Juniperus Sabina L., Sabine (rameaux).
Juniperus virginiana L., Cèdre (bois et feuilles).
Juniperus phœnicea L. (rameaux).
Juniperus thurifera L. var. *Gallica* (rameaux).
Juniperus chinensis L.

FAMILLE DES POLYPODIACÉES

Parmi les *Cryptogames* on n'a rencontré jusqu'ici qu'une seule plante à essence :

Polysticum Filix-mas Roth., Fougère mâle (rhizomes).

Les constituants des essences et leur distribution dans le règne végétal.

Nous n'avons pas à entreprendre ici l'étude chimique des principes constitutifs des huiles essentielles. Mais, pour rendre compréhensible l'exposé que nous aurons à faire, en même temps que pour remplir le programme que nous impose le titre de ce travail, nous énumérerons, en les groupant d'après leurs fonctions chimiques d'abord, et ensuite selon leurs qualités de composés terpéniques ou non terpéniques, les principales substances dont l'analyse a révélé la présence dans les huiles essentielles. Nous nous appuierons d'ailleurs, pour établir une méthode d'exposition, sur les généralités qui ont trouvé place dans le précédent chapitre (voir p. 21).

En même temps que chacun des principes immédiats contenus dans les huiles essentielles, nous indiquerons

les végétaux dans lesquels ils ont été caractérisés. Et ceux-ci seront groupés par familles.

Les constituants des essences n'ont pas toujours été identifiés d'une façon rigoureuse. En pareil cas, nous ferons suivre le nom de la plante d'un point d'interrogation.

Hydrocarbures.

I. — HYDROCARBURES TERPÉNIQUES

Il existe très peu d'huiles essentielles qui ne renferment un ou plusieurs hydrocarbures terpéniques. Ces corps, souvent très abondants, ne contribuent néanmoins que d'une façon secondaire au parfum.

Terpènes, $C^{10}H^{16}$ et $C^{10}H^{18}$.

Les représentants les plus répandus de la classe des hydrocarbures terpéniques sont les terpènes proprement dits, $C^{10}H^{16}$. Ces corps fixent les halogènes et les acides halogénés par voie d'addition. Le nombre de molécules d'hydracides qu'ils peuvent fixer ainsi va nous amener à les classer en trois catégories : 1° les terpènes divalents, 2° les terpènes trétravalents, 3° les terpènes hexavalents.

1° TERPÈNES $C^{10}H^{16}$ DIVALENTS. — Ils fixent une molécule d'hydracide ou deux atomes d'élément halogène. Les terpènes naturels appartenant à ce groupe sont : le *pinène* ou *térébenthène*[1], le *camphène* et le *fenène*.

Pinène. — On peut transformer le pinène en cam-

[1] MM. G.-B. FRANKFORTER et F.-C. FRARY (t. XXVIII, p. 1461) ont mentionné un terpène, le *firpène*, très voisin mais différent du pinène. L'étude de ce corps n'est encore qu'ébauchée.

phène et passer de ce dernier, par hydratation, à un alcool, l'isobornéol, $C^{10}H^{18}O$, qui, par oxydation, donne une cétone, $C^{10}H^{16}O$, le camphre. Le pinène est susceptible de se convertir en un alcool, $C^{10}H^{18}O$, le terpinéol.

Le pinène est le terpène le plus répandu dans les huiles essentielles, où on le rencontre sous la forme dextrogyre, lévogyre ou inactive :

Famille des Magnoliacées : Badiane.

Famille des Anonacées : Cananga et Ylang-ylang.

Famille des Canellacées : Cannelle blanche.

Famille des Pittosporacées : *Pittosporum undulatum* Guill.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Rue (?), Oranger à fruits amers (fleurs, feuilles ?), Bergamotier (fruits) (?), Citronnier (fruits).

Famille des Burséracées : *Dacryodes hexandra* Gries., Myrrhe.

Famille des Anacardiacées : Lentisque, Faux poivrier (?).

Famille des Myrtacées : *Darwiniana taxifolia* A. Cunn., *Leptospermum liversidgei* B. et Sm., Cajeput, Niaouli, *Eucalyptus tessellaris* F. v. M., *E. trachyphloia* F. v. M., *E. corymbosa* Sm., *E. intermedia* R. T. B., *E. eximia* Schauer., *E. botryoïdes* Sm., *E. robusta* Sm., *E. saligna* Sm. var. *pallidivalvis*, *E. nova-anglica* D. et M., *E. umbra* R. T. B., *E. dextropinea* R. T. B., *E. Wilkinsoniana* R. T. B., *E. lævopinea* R. T. B., *E. Bæuerleni* F. v. M., *E. propinqua* D. et M., *E. affinis* D. et M., *E. paludosa* R. T. B., *E. lactea* R. T. B., *E. rubida* D. et M.. *E. intertexta*

R. T. B., *E. maculata* Hook., *E. microcorys* F. v. M., *E. hemilampra* F. v. M., *E. quadrangulata* D. et M., *E. conica* D. et M., *E. Bosistoana* F. v. M., *E. eugenioïdes* Sieb., *E. paniculata* Sm., *E. resinifera* Sm., *E. polyanthema* Schau, *E. Behriana* F. v. M., *E. Rossii* B. et Sm,. *E. micrantha* D. C., *E. pendula* A. Cunn., *E. dealbata* A. Cunn.. *E. tereticarnis* Sm. var. *linearis*, *E. rostrata* Sch. var. *borealis*, *E. maculosa* R. T. B., *E. camphora* R. T. B., *E. punctata* D. C., *E. squamosa* D. et M., *E. Bridgesiana* R. T. B., *E. goniocalyx* F. v. M., *E. bicolor* A. Cunn., *E. viminalis* var. (a). *E. populifolia* Hook., *E. longifolia* Link et Otto, *E. Maideni* F. v. M., *E. globulus* Labill., *E. pulverulenta* Sims., *E. cinerea* F. v. M., *F. Stuartiana* F. v. M. var. *cordata*, *E. Morrisii* R. T. B., *E. Smithii* R. T. B., *E. sideroxylon* A. Cunn., *E. Cambagei* D. et M., *E. polybractea* R. T. B., *E. dumosa* A. Cunn., *E. Oleosa* F. v. M., *E. encorifolia* D. C., *E. stricta* Sieb. (*E. microphylla* A. Cunn., *E. Cunninghamii* G. Don.), *E. melliodora* A. Cunn., *E. ovalifolia* R. T. B. var. *lanceolata*, *E. tereticornis* Sm., *E. punctata* D. C. var. *didyma*, *E. gracilis* F. v. M., *E. viridis* R. T. B., *E. Woollsiana* R. T. B., *E. albens* Miq., *E. hemiphloia* F. v. M., *E. viminalis* Labill., *E. rostrata* Schlecht, *E. ovalifolia* R. T. B., *E. angophoroïdes* R. T. B., *E. fastigata* D. et M., *E. macrorhyncha* F. v. M., *E. capitellata* Sm., *E. pilularis* Sm., *E. acmenoïdes* Schau. (*E. triantha* Link), *E. fraxinoïdes* D. et M., *E. Fletcheri* R. T. B., *E. microtheca* F. v. M. (*E. brachypoda* Turcz.), *E. sideroxylon* A. Cunn. var. *pallens*. *E. crebra* F. v. M., *E. siderophloïa* Benth., *E. melanophloïa* F. v. M., *E.*

amygdalina Labill., *E. Luehmanniana* F. v. M., *E. dives* Schau., *E. radiata* Sieb., *E. Macarthuri* D. et M., *E. aggregata* D. et M., *E. apiculata* B. et Sm., *E. Risdoni* Hook., *E. cordata* Labill., *E. odorata* Behr., *E. carnea* R. T. B., *E. calophylla* R. Br., *E. diversicolor* F. v. M., *E. salmonophloïa* F. v. M., *E. redunca* Schauer, *E. occidentalis* Endl.. *E. marginata* Sm., *E. salubris* F. v. M., Myrte.

Famille des Ombellifères : Assa fœtida (?), Fenouil doux, Coriandre, Carotte sauvage.

Famille des Valérianacées : Valériane, Valériane du Japon.

Famille des Composées : Solidage, Immortelle (?), Absinthe (?).

Famille des Labiées : Basilic de la Réunion, Lavande, Menthe crépue, Menthe poivrée, Thym, *Thymus capitatus* Hoffmgg. et Link, *Satureia Thymbra* L., *Hedeoma pulegioïdes* Pers., *Calamintha Nepeta* Savi., Sauge, Romarin.

Famille des Aristolochiacées : Asaret, *Asarum arifolium* Michx, Serpentaire du Canada.

Famille des Pipéracées : Cubèbe (?).

Famille des Myristicacées : Muscadier (fruit).

Famille des Lauracées : Cannellier de Ceylan, Avocatier, Sassafras (bois et feuilles), Camphrier (bois et feuilles), Laurier noble (feuilles et baies), Laurier de Californie, Massoy, Apopine.

Famille des Urticacées : Pilea.

Famille des Zingibéracées : Galanga, *Alpinia Malaccensis* Roscœ.

Famille des Abiétacées : Nombreuses espèces de Pins et de Sapins, Baume du Canada.

Famille des Cupressacées : Sandaraque, Thuya, Cyprès, Genévrier (baies), Sabine ?.

Si l'on tient compte du grand nombre d'espèces d'Eucalyptus dont les essences renferment du pinène, on est amené à conclure que c'est la famille des Myrtacées qui, dans l'état actuel de nos connaissances, fournit le plus fréquemment le terpène en question. Ce même composé se rencontre très souvent aussi dans la famille des Abiétacées, et principalement dans les huiles essentielles extraites soit des résines, soit des aiguilles ou des cônes des différentes espèces de Pins et de Sapins.

Camphène. — On rencontre à l'état naturel le camphène droit, le camphène gauche et des mélanges des deux isomères optiques. Le camphène que l'on obtient par transformation du pinène est solide ; mais celui qui existe à l'état naturel est généralement liquide. Il a été cependant extrait à l'état solide de l'essence de *Pinus sibirica* Turcz. Étudions sa distribution dans le règne végétal.

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (feuilles ?, fleurs), Bergamotier (fruits ?), Oranger à fruits doux (feuilles, fleurs), Citronnier (feuilles et fruits).

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill., Myrte.

Famille des Ombellifères : Fenouil.

Famille des Valérianacées : Valériane, Valériane du Japon.

Famille des Composées : Millefeuille noble, *Artemisia herba alba* Asso.

Famille des Labiées : Aspic, Romarin.

Famille des Lauracées : Cannellier du Japon, Camphrier (bois et feuilles?).

Famille des Zingibéracées : Gingembre.

Famille des Graminées : Citronnelle.

Famille des Abiétacées : Pin (térébenthine), Pin de Sibérie.

Famille des Cupressacées : Cyprès.

Fenène. — Ce terpène est très rare. Il n'a été signalé jusqu'ici que dans l'*Eucalyptus globulus* Labill. (famille des Myrtacées) et dans l'essence de térébenthine (famille des Abiétinées).

2° Terpènes $C^{10}H^{16}$ quadrivalents. — Ils fixent deux molécules d'hydracide ou quatre atomes d'élément halogène. Ce sont : le *sabinène*, le *limonène*, le *dipentène*, le *terpinolène*, le *terpinène*, le *sylvestrène*, le *phellandrène*.

Sabinène. — Le sabinène possède des relations étroites avec le terpinène, avec les composés de la série du thuyol que nous mentionnerons plus loin et aussi avec le terpinénol. Il a été décelé dans les plantes suivantes .

Famille des Labiées : Marjolaine.

Famille des Urticacées : Pilea.

Famille des Zingibéracées : Cardamome de Ceylan.

Famille des Cupressacées : Sabine.

Limonène. — On trouve le limonène et sa forme racémique, le dipentène, parmi les produits de déshydratation d'un alcool tertiaire naturel, $C^{10}H^{18}O$, le linalol. On peut convertir assez aisément le limonène en une cétone, $C^{10}H^{16}O$, la carvone, que l'on rencontre dans plusieurs huiles essentielles.

Le limonène est très répandu dans la nature. On le

rencontre sous la modification dextrogyre ou sous la modification lévogyre. Sa forme racémique correspond au dipentène.

Famille des Pittosporacées : *Pittosporum undulatum* Guill.

Famille des Rutacées : Rue (?), Bucco, Oranger à fruits amers (feuilles), Bergamotier (fruits), Oranger à fruits doux (feuilles, fleurs, fruits), Cédratier (fruits), Citronnier (feuilles, fruits), Limettier (fruits), Mandarinier (fruits).

Famille des Burséracées : Elémi de Manille, *Dacryodes hexandra* Gries (?), Myrrhe.

Famille des Myrtacées : Niaouli, *Eucalyptus Staigeriana* F. v. M.

Famille des Ombellifères : Céleri, Carvi, Fenouil de Macédoine, Aneth.

Famille des Composées : Solidage (?), *Erigeron canadense* L.

Famille des Verbénacées : Verveine (?).

Famille des Labiées : Menthe crépue, Menthe pouliot, Menthe poivrée, *Bystropogon origanifolius* L'Hérit., *Hedeoma pulegioïdes* Pers., *Monarda punctata* L., *Monarda fistulosa* L., *Monodora myristica* Dunal.

Famille des Lauracées : Kuro-moji, Massoy.

Famille des Zingibéracées : Cardamome de Malabar.

Famille des Graminées : Ginger grass, Lemon grass.

Famille des Abiétacées : Pin de Finlande, Sapin (aiguilles et bourgeons), Cèdre (feuilles).

Dipentène. — Ce terpène se trouve distribué comme suit :

Famille des Rutacées : Wartara, Bucco, Oranger à fruits amers (fleurs), Bergamotier (fruits).

Famille des Burséracées : Elémi, Encens, Myrrhe.

Famille des Myrtacées : Myrte, *Myrtus Cheken* Spr.

Famille des Ombellifères : Fenouil.

Famille des Composées : Solidage.

Famille des Valérianacées : Valériane du Japon.

Famille des Labiées : Menthe pouliot, *Thymus capitatus* Hoffmgg. et Link, *Hedeoma pulegioïdes* Pers.

Famille des Aristolochiacées : Asaret.

Famille des Pipéracées : Poivre (?), Cubèbe.

Famille des Myristicacées : Muscadier.

Famille des Lauracées . Camphrier (bois), Kuromoji, Massoy, Apopine.

Famille des Euphorbiacées : Cascarille.

Famille des Urticacées : Houblon.

Famille des Zingibéracées : Cardamome de Ceylan (?).

Famille des Graminées : Palma rosa, Ginger grass, Lemon grass, Citronnelle.

Famille des Abiétacées : *Pinus sylvestris* (aiguilles), Térébenthine, Pin de Sibérie (aiguilles), Sapin rouge, Sapin de Finlande.

Famille des Cupressacées : Sandaraque (?).

Terpinolène. — Signalé dans l'essence d'Elémi de Manille (Burséracées).

Terpinène. — Il n'a été signalé jusqu'ici que dans l'essence d'Elémi de Manille (Burséracées), de Marjolaine (famille des Labiées), et dans l'essence de Cardamome de Ceylan (famille des Zingibéracées).

Sylvestrène. — Sans être très répandu, le sylvestrène est moins rare que le terpinène.

Il a été mentionné, mais non identifié rigoureusement, dans une Burséracée, le *Dacryodes hexandra* Griseb., sous forme lévogyre.

On le trouve doué d'un pouvoir rotatoire à droite, chez un certain nombre d'Abiétacées : *Pinus sylvestris* (aiguilles), *Pinus pumilio* Hænke, Pin de Suède, Pin de Finlande ; et chez une Cupressacée : Cyprès.

Phellandrène. — Il est intéressant de mentionner que le phellandrène donne, par oxydation, de l'eucalyptol ou cinéol, oxyde $C^{10}H^{18}O$ très répandu dans les essences et en particulier dans les essences d'Eucalyptus.

Le phellandrène est particulièrement fréquent, chez les Ombellifères et les Myrtacées ; un très grand nombre d'Eucalyptus élaborent ce terpène.

Famille des Magnoliacées : Badiane.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Citronnier (fruits).

Famille des Burséracées : Elémi, Encens.

Famille des Anacardiacées : Faux poivrier.

Famille des Légumineuses : Brésillet.

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus robusta* Sm., *E. melliodora* A. Cunn., *E. ovalifolia* R. T. B., *E. ovalifolia* R. T. B. var. *lanceolata*, *E. viminalis* Labill., *E. rostrata* Schlecht, *E. Dawsoni* R. T. B., *E. angophoroïdes* R. T. B., *E. fastigata* D. et M., *E. macrorhyncha* F. v. M., *E. capitellata* Sm., *E. nigra* R. T. B., *E. pilularis* Sm., *E. Planchoniana* F. v. M., *E. acmenoïdes* Schau., *E. fraxenoïdes* D. et M., *E. Fletcheri* R. T. B., *E. microtheca* F. v. M. (*E. brachipoda* Turcz.), *E. hæmastoma* Sm. (*E. signata* F. v. M.), *E. sideroxylon* A. Cunn. var. *pallens*, *E. crebra* F. v. M., *E. siderophloia* Benth., *E. melanophloïa* F. v. M.,

E. piperita Sm., *E. amygdalina* Labill., *E. amygdalina* var. *latifolia* M. et D., *E. vitrea* R. T. B., *E. Luehmanniana* F. v. M., *E. coriacea* A. Cunn. (*E. pauciflora* Sieb.), *E. Sieberiana* F. v. M., *E. oreades* R. T. B. (*E. virgata* Sieb. var. *altior*), *E. dives* Schauer, *E. radiata* Sieb., *E. Delegatensis* R. T. B., *E. obliqua* L'Hér. (*E. gigantea* Hook., *E. falcifolia* Miq., *E. nervosa* F. v. M.), *E. stellulata* Sieb., *E. virgata* Sieb., *E. Risdoni* Hook., *E. Loxophleba*, *E. gomphocephala* D. C., Piment, Bay, Bay des Bermudes.

Famille des Ombellifères : Persil, Ajowan (herbe), Fenouil d'eau, Angélique, Fenouil, Fenouil de Macédoine, Fenouil amer sauvage, Aneth (herbe et semences).

Famille des Composées : Fenouil des chiens, Solidage, Absinthe.

Famille des Labiées : Menthe poivrée, *Monodora myristica* Dunal.

Famille des Pipéracées : Poivrier.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan, *Cinnamomum pedunculatum* Nees, Sassafras (bois et feuilles), Camphrier (bois).

Famille des Zingibéracées : Curcuma, Gingembre.

Famille des Graminées : Ginger grass.

Famille des Abiétacées : *Pinus pumilio* Hænke, Sapin rouge, Pin de Sibérie.

3° Terpènes $C^{10}H^{16}$ hexavalents. — Ces terpènes fixent trois molécules d'hydracide ou six atomes d'élément halogène. Ce sont : le *myrcène* et l'*ocimène*. Ils possèdent des formules linéaires.

Myrcène et ocimène. — Ces deux terpènes, très voisins l'un de l'autre, existent : le premier, dans les

essences de Bay (Myrtacées), de Verveine (Verbénacées), de feuilles de Sassafras (Lauracées), de Houblon (?) (Urticacées) ; le second, dans les essences fournies par deux Labiées : le Basilic de Java et le *Mosla japonica* Maxim. (?).

Hydrocarbures terpéniques $C^{10}H^{18}$. — Ils sont certainement très rares dans la nature. Un carbure de cette classe, le *menthène*, avait été signalé dans l'essence de Menthe ; mais sa présence n'a pas été confirmée. Par contre, il en existe un, le *salvène*, dans la Sauge allemande (famille des Labiées).

Sesquiterpènes, $C^{15}H^{24}$.

Les sesquiterpènes sont moins bien connus, au point de vue chimique, que les terpènes. Le plus répandu est le *cadinène ;* c'est aussi, avec le *caryophyllène*, le mieux étudié. Il convient de mentionner encore : l'*humulène*, le *cédrène*, l'*araliène*, l'*aromadendrène*, le *carlinène*, le *conimène*, le *cryptène*, le *galipène*, le *limène*, les *santalènes* α et β, le *vétivène*, le *zingibérène*. Il en existe d'autres encore, mais tout à fait mal définis.

Cadinène. — C'est presque toujours sous la forme lévogyre qu'on rencontre le cadinène dans les végétaux suivants :

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Rutacées : Cuspare, Santal des Indes occidentales.

Famille des Burséracées : Encens.

Famille des Méliacées : *Cedrela odorata* L.

Famille des Légumineuses : *Amorpha fruticosa* L., Copahu, *Sindora Wallichii* Benth.

Famille des Ombellifères : Assa fœtida, Galbanum.

Famille des Composées : Absinthe, Solidage.

Famille des Labiées : Patchouli (?), Menthe poivrée.

Famille des Pipéracées : Cubèbe, Bétel.

Famille des Monimiacées : Para-coto.

Famille des Lauracées : Camphrier (bois).

Famille des Bétulacées : Bouleau.

Famille des Abiétacées : Pin sylvestre (aiguilles), *Pinus pumilio* Hænke, Cèdre de l'Atlas. Sapin rouge.

Famille des Cupressacées : Cèdre (feuilles), Cyprès, Genévrier (baies), Sabine.

Caryophyllène. — Ce sesquiterpène est moins répandu que le cadinène. Il a été signalé jusqu'ici dans l'essence de Cannelle blanche (Canellacées), l'essence de Copahu (Légumineuses), les essences de Piment et de clous de Girofle (Myrtacées), dans l'essence de Bétel de Java (Pipéracées) et dans l'essence de Cannelle de Ceylan (Lauracées).

Autres sesquiterpènes. — Nous aurons à signaler encore :

L'*humulène*, dans les essences de Houblon (Urticacées) et de bourgeons de Peuplier (Salicacées) ;

Le *cédrène*, dans l'essence de bois de Cèdre, et de *Juniperus chinensis* L. (Cupressacées) ;

L'*araliène*, dans l'essence d'*Aralia nudicaulis* Blume (Araliacées) ;

L'*aromadendrène*, dans un grand nombre d'essences d'Eucalyptus (Myrtacées) ;

Le *carlinène*, dans l'essence de Carline (Composées) ;

Le *conimène*, dans l'essence de Conima (Burmanniacées) ;

Le *cryptène*, dans l'essence de *Cryptomeria japonica* D. Don. (Abiétacées);

Le *galipène*, dans l'essence de Cuspare (Rutacées);

Le *limène*, dans les essences de Bergamote (?), de Citron, de Limette (Rutacées), et dans l'essence de *Piper Volkensii* C. D. C. (Pipéracées);

Le *santalène* α et le *santalène* β, dans l'essence de Santal des Indes orientales (Santalacées);

Le *vétivène*, dans l'essence de Vétiver (Graminées);

Le *zingibérène*, dans l'essence de Gingembre (Zingibéracées).

Polyterpènes.

Les biterpènes $(C^{10}H^{16})^2$ et les triterpènes $(C^{10}H^{16})^3$, par exemple, existent dans des baumes et dans des résines. Ils sont très mal connus.

2. — HYDROCARBURES NON TERPÉNIQUES

Les hydrocarbures non terpéniques, et en particulier les paraffines, sont très répandus dans les végétaux; mais seuls, les composés à poids moléculaires assez faibles sont volatils avec la vapeur d'eau, de sorte que l'on n'en rencontre qu'un nombre limité dans les essences. D'ailleurs, nous nous hâtons de le dire, les paraffines sont inodores. Il y a donc lieu de ne les mentionner que de la façon la plus sommaire.

On trouve, parmi les hydrocarbures, des représentants de la série grasse et des représentants de la série aromatique.

Hydrocarbures de la série grasse.

Plusieurs *hydrocarbures saturés* ont été signalés dans les huiles essentielles : *heptane*, C^7H^{16} (essences de *Pinus Sabiniana* Douglas et de *Pinus Jeffreyi* A. Murr., Abiétacées) ; *pentadécane*, $C^{15}H^{32}$ (essence de *Kæmpferia Galanga* L., Zingibéracées) ; *triacontane*, $C^{30}H^{62}$ (essence de Wintergreen, Éricacées et essence de Bouleau, Bétulacées) ; nombreuses *paraffines*.

Les *hydrocarbures non saturés* sont plus rares. Nous avons à mentionner l'*octylène*, C^8H^{16}, qui paraît exister dans les essences de Bergamote et de Citron (Rutacées).

Hydrocarbures de la série aromatique.

Benzine, C^6H^6. — Elle a été signalée dans l'essence de Pin de Finlande (Abiétacées).

Para-cymène, $C^6H^4\left\langle\begin{matrix}CH^3 \ (1) \\ C^3H^7 \ (4)\end{matrix}\right.$. — Le para-cymène est assez répandu, notamment chez les Labiées. Il a été caractérisé dans les huiles essentielles des végétaux que nous allons énumérer :

Famille des Rutacées : Citronnier (fruits).

Famille des Burséracées : *Canarium Cumungii* Engl. (?).

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus microtheca* F. v. M., *E. hæmastoma* Sm., *E. melanophoïa* F. v. M., *E. calophylla* R. Br., *E. marginata* Sm., *E. salubris* F. v. M.

Famille des Ombellifères : Ciguë vireuse, Ajowan. Angélique, Cumin.

Famille des Labiées : Origan de Trieste, Origan de Smyrne, Thym, Serpolet, *Thymus capitatus* Hoffmgg. et Link, Sarriette des jardins, Sarriette thymbra, *Monarda citriodora* Cerv. (?).

Famille des Monimiacées : Boldo.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan.

Famille des Euphorbiacées : Cascarille.

Famille des Cupressacées : Cyprès.

Styrolène, $C^6H^5 - CH = CH^2$. — Le styrolène a été caractérisé dans la résine d'une Hamamélidacée : le Styrax, et chez une Liliacée : la Xanthorrhée.

Naphtaline, $C^{10}H^8$. — Famille des Myrtacées : Giroflier (griffes).

Famille des Iridacées : Iris.

Nous ne dirons rien des hydrocarbures dont on a simplement indiqué la formule brute, sans donner d'autres renseignements sur leur nature.

Alcools et Éthers.

Les alcools existent dans les essences, soit à l'état libre, soit à l'état d'éthers composés, et le plus souvent partie à l'état de liberté, partie à l'état de combinaisons avec les acides (acides acétique, valérianique, etc.).

Nous nous occuperons tout d'abord des alcools terpéniques, et nous mentionnerons ensuite les alcools non terpéniques gras ou aromatiques, faisant partie constitutive des essences, soit à l'état libre, soit sous forme d'éthers.

I. — Alcools de la série terpénique

Les *alcools terpéniques* peuvent être considérés comme provenant des terpènes $C^{10}H^{16}$ par substitution d'un groupement OH à un atome d'hydrogène, ou bien par fixation d'une molécule d'eau. On a alors, selon le cas, des corps de la formule $C^{10}H^{16}O$, ou bien $C^{10}H^{18}O$. Il en est aussi qui peuvent être envisagés comme provenant de l'hydratation des carbures terpéniques $C^{10}H^{18}$; leur formule sera $C^{10}H^{20}O$.

Il existe des *alcools sesquiterpéniques* de la formule $C^{15}H^{24}O$, il en est aussi qui répondent à la formule $C^{15}H^{26}O$. Les premiers correspondent à des produits de substitution de OH à un atome d'hydrogène dans les sesquiterpènes; les seconds, aux produits provenant de la fixation d'une molécule d'eau.

Alcools terpéniques.

1° Alcools $C^{10}H^{16}O$. — Parmi les alcools de la formule $C^{10}H^{16}O$ nous rencontrons : deux alcools primaires, l'*alcool dihydrocuminique* et le *myrténol ;* et deux alcools secondaires, le *sabinol* et l'*alcool* $C^{10}H^{16}O$ de l'essence d'*Eucalyptus globulus* Labill., ce dernier presque certainement identique au *pinocarvéol* obtenu en partant du pinène.

Alcool dihydrocuminique. — Famille des Graminées : Ginger grass.

Myrténol. — C'est un alcool primaire cyclique contenu dans l'essence de Myrte (famille des Myrtacées).

Sabinol. — Famille des Cupressacées : Sabine, Cyprès (?).

Pinocarvéol (ou un alcool tout à fait analogue). — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill.

2° ALCOOLS $C^{10}H^{18}O$. — Ils sont particulièrement répandus dans les essences.

Il en est qui possèdent des formules linéaires.

Nous aurons à mentionner, dans cet ordre d'idées, deux alcools primaires : le *géraniol* et le *nérol,* qui sont des isomères stéréochimiques et donnent respectivement, par oxydation ménagée, du citral ou géranial et du néral, aldéhydes également stéréoisomères et produites par certains végétaux.

Il existe encore un alcool $C^{10}H^{18}O$ à chaîne ouverte, mais de nature tertiaire. Nous avons nommé le *linalol,* qui, par isomérisation, peut se convertir en géraniol et donner, grâce à cette propriété, du citral par oxydation. Le linalol, comme d'ailleurs le géraniol et le nérol, peut aussi se transformer en un alcool cyclique isomérique, le terpinéol. Un autre alcool, l'*apopinol,* mal étudié, paraît voisin du linalol ou identique à ce corps.

Plusieurs alcools $C^{10}H^{18}O$ sont représentés par des formules cycliques.

Le *dihydrocarvéol,* le *thuyol* et le *bornéol* sont des alcools cycliques de nature secondaire. Le premier peut s'obtenir par hydrogénation d'une cétone $C^{10}H^{14}O$, la carvone, qui existe, elle aussi, à l'état naturel. Le second est également le produit d'hydrogénation d'une cétone naturelle, la thuyone, qu'il peut, d'ailleurs, engendrer par voie d'oxydation. Quant au bornéol, c'est l'alcool correspondant au camphre, cétone $C^{10}H^{16}O$ assez répandue dans les huiles essentielles.

Enfin, le *terpinéol,* le *terpinénol* et l'*alcool* $C^{10}H^{18}O$ *de l'Hysope* sont des alcools tertiaires cycliques. Le terpinéol peut se former à partir de terpènes : pinène, limonène, dipentène, ou d'alcools terpéniques : géraniol, nérol, linalol. Il est susceptible de se convertir en carvone, et aussi en eucalyptol.

Étudions la distribution des divers alcools $C^{10}H^{18}O$ énumérés.

Géraniol. — Cet alcool se rencontre assez fréquemment dans les essences soit à l'état libre, soit à l'état combiné :

Famille des Magnoliacées : Champaca.

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (feuilles et fleurs) ; Oranger à fruits doux (feuilles) ; Citronnier (feüilles et fruits).

Famille des Burséracées : Linaloé.

Famille des Légumineuses : Cassie.

Famille des Rosacées : Rose.

Famille des Myrtacées : *Darwinia fascicularis* Rudge ; *Eucalyptus Macarthuri* D. et M., *Eucalyptus Staigeriana* F. v. M., *Eucalyptus marginata* Sm. (?), *Eucalyptus salubris* F. v. M. (?), Myrte.

Famille des Verbénacées : Verveine.

Famille des Labiées : Lavande, Aspic (?).

Famille des Aristolochiacées : Serpentaire du Canada.

Famille des Lauracées : Sassafras (feuilles), Laurier (feuilles), Kuro-moji.

Famille des Urticacées : Houblon (?).

Famille des Graminées : Palma rosa, Ginger grass, Lemon grass, Citronnelle.

Nérol. — Le nérol n'a pas encore été caractérisé dans un très grand nombre d'essences ; mais il est probable qu'il accompagne fréquemment le géraniol, dont il est le stéréoisomère. Il a été identifié jusqu'ici dans les essences de néroli et de petit grain (essences de fleur et de feuille d'Oranger, famille des Rutacées), ainsi que dans les essences de Linaloé (Burséracées) et de Rose (Rosacées).

Linalol. — C'est le linalol gauche qui est le plus répandu. Quelques plantes renferment cependant le produit dextrogyre. Nous allons indiquer la distribution de cet alcool dans le règne végétal.

Famille des Magnoliacées : Champaca.

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Wartara. Oranger à fruits amers (feuilles et fleurs), Bergamotier (fruit), Oranger à fruits doux (feuilles?, fleurs, fruits), Citronnier (fruit), Limettier d'Italie (fruits et fleurs?).

Famille des Burséracées : Linaloé.

Famille des Légumineuses : Cassie.

Famille des Rosacées : Rose.

Famille des Myrtacées : *Darwinia taxifolia* A. Cunn. (?).

Famille des Ombellifères : Fenouil, Coriandre.

Famille des Rubiacées : Gardénia.

Famille des Oléacées : Jasmin.

Famille des Labiées : Basilic de France, Lavande, Aspic, Menthe crépue de Russie, *Mentha citrata* Ehrh. (?), Origan de Smyrne, Thym, Sauge sclarée (?).

Famille des Aristolochiacées : Serpentaire du Canada.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan. Cannelle du Japon, *Cinnamomum pedatinervium* Meissn., *Cinnamomum pedunculatum* Nees (?), Bois de rose, Sassafras (feuilles), Laurier (feuilles), Kuro-moji.

Famille des Urticacées : Houblon.

Famille des Graminées : Lemon grass (?), Citronnelle.

Apopinol. — Cet alcool, voisin du linalol ou identique à ce corps, se trouve dans l'essence d'Apopine (famille des Lauracées).

Dihydrocarvéol. — Famille des Ombellifères : Carvi.

Thuyol. — Famille des Composées : Absinthe.

Famille des Cupressacées : Thuya.

Bornéol. — Le bornéol est très répandu dans les essences et particulièrement dans celles de la famille des Abiétacées. Il existe sous la forme lévogyre et sous la forme dextrogyre.

Famille des Diptérocarpacées : Camphrier de Bornéo.

Famille des Valérianacées : Valériane et Valériane du Japon.

Famille des Composées : Solidage, *Blumea balsamifera* D. C., Millefeuille noble, Matricaire, Tanaisie.

Famille des Labiées : Lavande, Thym, *Thymus capitatus* Hoffmgg et Link, *Satureia Thymbra* L., Sauge, Romarin.

Famille des Aristolochiacées : Serpentaire du Canada et Serpentaire de Virginie.

Famille des Lauracées : Camphrier.

Famille des Zingibéracées : Cardamome de Siam et Gingembre.

Famille des Graminées : Citronnelle.

Famille des Abiétacées : *Pinus maritima* Poiret,

Pin noir, *Pinus halepensis* Mill. (?), *Pinus Laricio* Poiret, *Pinus Pumilio* Hænke, *Pinus strobus* L. (?), Pin de Sibérie, Mélèze (aiguilles), *Larix americana* Michx, Sapin (aiguilles et bourgeons?), Sapin rouge, Sapin du Canada (aiguilles), Sapin balsamique (aiguilles).

Famille des Cupressacées : Cèdre (feuilles).

Terpinéol. — Le terpinéol accompagne souvent le linalol ou le cinéol. Quand il coexiste dans une huile essentielle avec le linalol, les deux principes alcooliques possèdent généralement des signes optiques contraires. D'ailleurs, *in vitro*, le linalol droit peut se transformer en terpinéol gauche, et le linalol gauche en terpinéol droit.

Famille des Magnoliacées : Badiane (?).

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (feuilles et fleurs), Oranger à fruits doux (fruits), Citronnier (fruits), Limettier (fruits).

Famille des Burséracées : Linaloé.

Famille des Myrtacées : Cajeput et Niaouli.

Famille des Ombellifères : Livèche.

Famille des Rubiacées : Gardénia.

Famille des Valérianacées : Valériane (?) et Valériane du Japon.

Famille des Composées : *Erigeron canadense* L.

Famille des Labiées : Aspic (?), Marjolaine (?).

Famille des Aristolochiacées : Serpentaire du Canada.

Famille des Monimiacées : Boldo.

Famille des Lauracées : Culilawan (?), *Ocotea usabarensis* Engl., Camphrier (bois et feuilles), Kuromoji.

Famille des Zingibéracées : *Amomum Mala* K. Schum. et Cardamome de Malabar.

Famille des Cupressacées : Thuya, Cyprès.

Terpinénol. — Cet isomère du terpinéol se trouve dans la Marjolaine (Labiées) et dans la Cardamome de Ceylan (Zingibéracées).

Alcool de l'Hysope. — Famille des Labiées : Hysope.

3° ALCOOLS $C^{10}H^{20}O$. — On connaît plusieurs alcools $C^{10}H^{20}O$, naturels.

Deux d'entre eux sont acycliques et primaires : le *citronnellol* et le *rhodinol*. Le premier donne, par oxydation, du citronnellal, $C^{10}H^{18}O$, aldéhyde que nous aurons à mentionner parmi les produits naturels. Le second s'oxyde en donnant l'aldéhyde correspondante, le rhodinal $C^{10}H^{18}O$; mais celle-ci s'isomérise partiellement pour se convertir en menthone, cétone contenue dans la Menthe poivrée.

Comme alcools $C^{10}H^{20}O$ à formule cyclique, de nature secondaire, nous n'aurons à mentionner que le *menthol* donnant, par oxydation, la menthone, cétone $C^{10}H^{18}O$ qui l'accompagne dans la Menthe poivrée. On peut passer de la menthone au menthol par hydrogénation. On obtient aussi du menthol, en même temps que des isomères, en fixant quatre atomes d'hydrogène sur une cétone $C^{10}H^{16}O$, la pulégone, contenue en particulier dans l'essence de Menthe pouliot.

Un alcool $C^{10}H^{20}O$ du Fenouil d'eau, l'*androl*, est très probablement de nature tertiaire, car il ne donne ni aldéhyde ni cétone par oxydation.

Citronnellol. — Famille des Graminées : Citronnelle.

Rhodinol. — Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rosacées : Rose.

Menthol. — On le rencontre chez deux Labiées : la

Menthe pouliot et la Menthe poivrée. Le menthol naturel est lévogyre.

Androl. — Famille des Ombellifères : Fenouil d'eau.

Alcools sesquiterpéniques.

Nous aurons à considérer des composés répondant à la formule $C^{15}H^{24}O$ et des composés répondant à la formule $C^{15}H^{26}O$. Ces alcools sont moins bien étudiés que les alcools terpéniques proprement dits.

Les alcools sesquiterpéniques sont assez nombreux; mais, si on les considère chacun en particulier, ils ne sont pas l'objet d'une large distribution dans les végétaux.

1° Alcools $C^{15}H^{24}O$. — Les alcools $C^{15}H^{24}O$ à mentionner sont : le *bétulol*, l'*alcool de l'essence de cascarille*, les *santalols* et un *alcool de l'essence de Santal des Indes occidentales*.

Bétulol. — Famille des Bétulacées : Bouleau (bourgeons).

Santalols (Santalol α et Santalol β [1]). — Famille des Santalacées : Santal des Indes orientales.

2° Alcools $C^{15}H^{26}O$. — Les alcools $C^{15}H^{26}O$ sont plus nombreux. Citons : l'*atractylol,* le *caparrapiol,* le *camphre de Cubèbe,* le *camphre de Lédon,* le *cédrol,* le *farnésol* (un des principes odorants les plus intéressants de l'essence d'Ambrette et de l'essence de Cassie), le

[1] D'après les travaux récents, la portion alcoolique de l'essence de Santal renferme au plus des traces d'alcool $C^{15}H^{26}O$; elle est à peu près exclusivement formée d'alcools $C^{15}H^{24}O$.

galipol, le *gayol*, le *gonostylol*, le *nérolidol*, un *alcool de l'essence de Santal des Indes occidentales*, le *vétivénol* de l'essence de Vétiver, les *alcools sesquiterpéniques de l'Eucalyptus globulus*, *de l'Opoponax*, *du Patchouli*, *de la Rose*, *de l'Ylang-ylang*.

Les alcools sesquiterpéniques sont souvent inodores ou peu odorants; mais il en est, comme le farnésol, qui sont des parfums très puissants.

Amyrol. — Famille des Rutacées : Santal des Indes occidentales.

Atractylol. — Famille des Composées : *Atractylis ovota* Thunbg.

Caparrapiol. — Famille des Lauracées : Caparrapi.

Camphre de Cubèbe. — Famille des Pipéracées : Cubèbe.

Camphre de Lédon. — Famille des Éricacées : Lédon.

Cédrol. — Famille des Cupressacées : Cyprès, Cèdre (bois) et *Juniperus chinensis* L.

Farnésol. — Famille des Malvacées : Ambrette.

Famille des Légumineuses : Cassie.

Galipol. — Famille des Rutacées : Cuspare.

Gayol. — Famille des Zygophyllacées : Gayac (bois).

Gonostylol. — Famille des Thyméléacées : *Gonostylus Miquelianus* T. et B.

Nérolidol. — Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs).

Vétivénol. — Famille des Graminées : Vétiver.

2. — ALCOOLS NON TERPÉNIQUES

C'est surtout sous forme d'éthers que se trouvent dans les huiles essentielles les alcools non terpéniques, et nombreux sont les acides avec lesquels ils sont combinés.

Alcools de la série grasse et leurs éthers.

Alcool méthylique, $H - CH^2OH$. — On le rencontre fréquemment à l'état libre, à côté du furfurol et du diacétyle.

Famille des Ternstrœmiacées : Thé.

Famille des Linacées : Coca.

Famille des Rutacées : Santal des Indes occidentales.

Famille des Légumineuses : *Indigofera galegoïdes* D. C. et Brésillet.

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus amygdalina* Labill., Giroflier.

Famille des Ombellifères : Carvi et Cerfeuil.

Famille des Composées : *Ageratum conyzoïdes* L.

Famille des Graminées : Vétiver.

Isobutyrate de méthyle, $CH^3 - CH - COOCH^3$.



CH^3

— Famille des Abiétacées : Pin de Finlande.

Méthyléthylacétate de méthyle, $C^4H^9 . COOCH^3$. — Famille des Magnoliacées : Champaca.

Myristate de méthyle, $C^{13}H^{27} . COOCH^3$, *et Oléate de*

méthyle, $C^{17}H^{33}.COOCH^3$. — Famille des Iridacées : Iris.

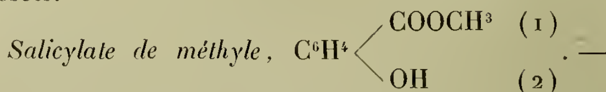
Benzoate de méthyle, $C^6H^5 — COOCH^3$. — Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Myrtacées : Giroflier.

Famille des Amaryllidacées : Tubéreuse (?).

Cinnamate de méthyle, $C^6H^5 — CH = CH — COOCH^3$. — Famille des Rutacées : Wartara.

Famille des Zingibéracées : *Alpinia malaccensis* Roscœ.



Salicylate de méthyle, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} COOCH^3 & (1) \\ OH & (2) \end{array} \right.$. —

Ce corps n'existe généralement pas tout formé chez les plantes, il prend naissance par dédoublement d'un glucoside. Très nombreux sont les végétaux fournissant du salicylate de méthyle. On trouvera, au chapitre IV, l'énumération des familles auxquelles appartiennent ces végétaux. Nous nous bornerons ici à mentionner les plantes desquelles on a extrait des huiles essentielles contenant plus ou moins de salicylate de méthyle.

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Polygalacées : Polygale.

Famille des Ternstrœmiacées : Thé.

Famille des Linacées : Coca.

Famille des Rutacées : Rue.

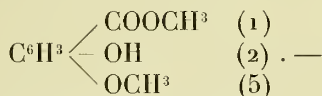
Famille des Légumineuses : Cassie.

Famille des Rosacées : Reine des prés (fleurs et racines).

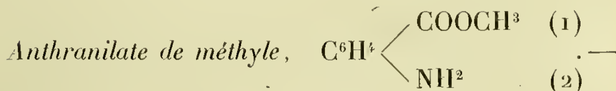
Famille des Éricacées : *Gaultheria procumbens* L. (Wintergreen). *Gaultheria punctata* Blume, *Gaultheria leucocarpa* Blume.

Famille des Monotropacées : *Monotropa Hypopitys* L.
Famille des Lauracées : Laurier-benjoin.
Famille des Bétulacées : Bouleau.
Famille des Amaryllidacées : Tubéreuse.

Méta-méthoxy-salicylate de méthyle,



Famille des Primulacées : Primevère.



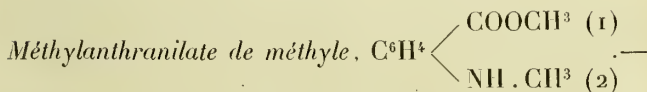
Famille des Magnoliacées : Champaca (?).

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs), Oranger à fruits doux (fruits), Citronnier (fruits), Limettier (fleurs) (?).

Famille des Rubiacées : Gardénia.

Famille des Oléacées : Jasmin.

Famille des Amaryllidacées : Tubéreuse.



Famille des Rutacées : Rue, Bergamotier (feuilles), Mandarinier (feuilles, tiges et fruits).

Si nous considérons à la fois l'anthranilate et le méthylanthranilate de méthyle, nous constatons que ces composés sont répandus surtout dans la famille des Rutacées.

Alcool éthylique, $CH^3 - CH^2OH$. — Ce corps existe

à l'état libre dans les essences provenant des végétaux que nous allons énumérer :

Famille des Légumineuses : *Indigofera galegoïdes* D.C.

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus amygdalina* Labill.

Famille des Ombellifères : Cerfeuil et Panais.

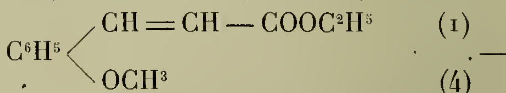
Acétate d'éthyle, $CH^3 - COOC^2H^5$. — Famille des Magnoliacées : *Magnolia fuscata* Andrews.

Butyrate d'éthyle, $C^3H^7 - COOC^2H^5$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum Sphondylium* L., *Heracleum giganteum* Fisch.

Cinnamate d'éthyle, $C^6H^5 - CH = CH - COOC^2H^5$. — Famille des Hamamélidacées : Styrax.

Famille des Zingibéracées : *Kæmpferia Galanga* L.

Para-méthoxycinnamate d'éthyle,



$$C^6H^5 \begin{cases} CH = CH - COOC^2H^5 & (1) \\ OCH^3 & (4) \end{cases}$$

. — Famille des Zingibéracées : *Kæmpferia Galanga* L.

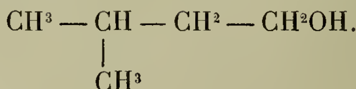
Alcool isobutylique, $CH^3 - CH(CH^3) - CH^2OH$.



— Famille des Myrtacées : *Eucalyptus amygdalina* Labill.

Isobutyrate et angélate de butyle n., $C^3H^7 - COOC^4H^9$ et $C^4H^7 - COOC^4H^9$. — Famille des Composées : Camomille romaine.

Alcools amylique, $C^4H^9 - CH^2OH$, *et isoamylique*,



$$CH^3 - CH(CH^3) - CH^2 - CH^2OH.$$

— Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Myrtacées : Cajeput, Niaouli, *Eucalyptus globulus* Labill., *Eucalyptus amygdalina* Labill.

Famille des Labiées : Lavande.

Acétate d'amyle, $CH^3 - COOC^5H^{11}$. — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill. (?).

Famille des Labiées : Menthe poivrée.

Tiglate et angélate de l'alcool amylique de fermentation, $C^4H^7 - COOC^5H^{11}$. — Famille des Composées : Camomille romaine.

Eudesmate d'amyle, $C^{14}H^{17}O^2 . C^5H^{11}$. — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus aggregata* H. G. Sm., *Eucalyptus saligna* Sm. var. *pallidivalvis*.

Acétate d'hexyle n., $CH^3COOC^6H^{13}$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum Sphondylium* L., *Heracleum giganteum* Fisch.

Butyrate d'hexyle n., $C^3H^7 - COOC^6H^{13}$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum giganteum* Fisch.

Famille des Polypodiacées : Fougère mâle.

Éthers hexyliques des acides supérieurs jusqu'à l'acide pélargonique. — Famille des Polypodiacées : Fougère mâle.

Tiglate et angélate de l'alcool hexylique actif (alcool méthyl-éthyl-propylique), $C^4H^7 - COOC^6H^{13}$. — Famille des Composées : Camomille romaine.

Acétate d'octyle, $CH^3 - COOC^8H^{17}$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum Sphondylium* L., *Heracleum giganteum* Fisch.

Butyrate d'octyle, $C^3H^7 - COOC^8H^{17}$. — Famille des Ombellifères : Panais et *Heracleum giganteum* Fisch.

Famille des Polypodiacées : Fougère mâle.

Caproate d'octyle, $C^5H^{11} - COOC^8H^{17}$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum Sphondylium* L.

Famille des Polypodiacées : Fougère mâle.

Éthers octyliques des acides supérieurs jusqu'à l'acide pélargonique. — Famille des Polypodiacées : Fougère mâle.

Caprate et Laurate d'octyle, $C^9H^{19} - COOC^8H^{17}$ et $C^{11}H^{23} - COOC^8H^{17}$. — Famille des Ombellifères : *Heracleum Sphondylium* L.

Alcool nonylique, $C^9H^{19}.OH$. — Famille des Rutacées : Oranger à fruits doux (fruits).

Méthylheptylcarbinol, $CH^3.(CH^2)^6.CHOH.CH^3$, *et Méthylnonylcarbinol*, $CH^3.(CH^2)^8.CHOH.CH^3$. — Famille des Rutacées : Rue.

Alcools de la série aromatique et leurs éthers.

Alcool benzylique, $C^6H^5 - CH^2OH$. — Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Légumineuses : Cassie.

Famille des Oléacées : Jasmin.

Famille des Amaryllidacées : Tubéreuse.

Benzoate de benzyle, $C^6H^5 - COOCH^2.C^6H^5$. — Famille des Légumineuses : Baume du Pérou, Baume de Tolu.

Famille des Amaryllidacées : Tubéreuse.

Cinnamate de benzyle,



$$C^6H^5 - CH = CH - COOCH^2.C^6H^5.$$

— Famille des Légumineuses : Baume du Pérou, Baume de Tolu.

Famille des Hamamélidacées : Styrax.

Alcool phényléthylique, $C^6H^5 - CH^2 - CH^2OH$. — Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs).

Famille des Rosacées : Rosier (fleur).

Famille des Abiétacées : Pin d'Alep d'Algérie.

Acétate de phénylméthylcarbinol,



$$CH^3 - COOCH(CH^3) . C^6H^5.$$

— Famille des Rubiacées : Gardénia.

Acétates de phénylpropyle,



$$CH^3 - COOCH^2 . (CH^2)^2 . C^6H^5,$$

et de cinnamyle, $CH^3 - COOCH^2 - CH = CH . C^6H^5$. — Famille des Lauracées : Cannelle de Chine.

Cinnamates de phénylpropyle et de cinnamyle. — Famille des Hamamélidacées : Styrax.

Alcool du groupe de furfurane.

Alcool furfurylique, $C^4H^3O . CH^2OH$. — Famille des Rubiacées : Café.

Alcools non sériés.

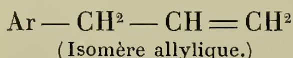
On a signalé un certain nombre d'alcools encore mal définis, parmi lesquels le *pérouviol*, $C^{13}H^{22}O$ (à l'état d'éther), et l'*alcool kessylique*, $C^{14}H^{24}O^2$.

Phénols et dérivés phénoliques.

Il s'agit là d'une classe de corps extrêmement importante et comptant des représentants dans un très grand nombre d'huiles essentielles. Elle comprend : 1° des composés ne possédant qu'une fois la fonction phénol ; 2° des diphénols et des quinones ; 3° des composés phé-

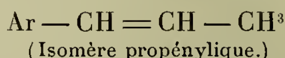
noliques possédant en même temps la fonction éther oxyde de phénol; 4° des éthers oxydes de phénols chez lesquels le groupement fonctionnel (généralement méthoxylique ou oxyméthylénique) se trouve ou non répété.

Parmi les phénols et les éthers oxydes de phénols, il est un certain nombre de corps dont la molécule renferme la chaîne latérale C^3H^5. Chacun d'eux peut alors exister sous les deux formes isomériques correspondant aux formules :



$Ar - CH^2 - CH = CH^2$

(Isomère allylique.)



$Ar - CH = CH - CH^3$

(Isomère propénylique.)

dans lesquelles Ar désigne un noyau aromatique plus ou moins susbtitué.

On passe de la première forme à la seconde par traitement au moyen d'un alcali, la potasse alcoolique par exemple.

Par oxydation, la chaîne allylique se transforme, mais avec de mauvais rendements, en groupement aldéhydique CHO. Les résultats sont beaucoup plus avantageux lorsqu'on opère sur le composé propénylique, la double liaison se prêtant alors d'une façon parfaite à la rupture de la molécule :



$$Ar - CH = CH - CH^3 \longrightarrow Ar - CHO$$

Certains de ces composés existent à l'état naturel sous leurs deux formes isomériques. Dans d'autres cas, on n'a encore rencontré que l'un des deux isomères.

I. — PHÉNOLS

Phénols à chaîne latérale saturée.

Méta-crésol, $C^6H^4 \begin{cases} CH^3 & (1) \\ OH & (3) \end{cases}$. — Famille des Burséracées : Myrrhe.

Para-crésol, $C^6H^4 \begin{cases} CH^3 & (1) \\ OH & (4) \end{cases}$. — Famille des Légumineuses : Cassie (*Acacia Farnesiana* Willd.).

Phlorol (*Isobutyrate de*). — Le phlorol a pour formule $C^6H^4 \begin{cases} C^2H^5 & (1) \\ OH & (2) \end{cases}$, on le trouve à l'état d'isobutyrate dans l'Arnica (famille des Composées).

Thymol, $C^6H^3 \begin{cases} CH^3 & (1) \\ OH & (3) \\ C^3H^7 & (4) \end{cases}$. — Presque toutes les plantes dans lesquelles le thymol a été identifié appartiennent à la famille des Labiées.

Famille des Ombellifères : Ajowan (herbe et fruits).

Famille des Labiées : *Mosla japonica* Maxim., *Cunila Mariana* L. (?), Thym, Serpolet, *Thymus capitatus* Hoffmgg. et Link, *Satureia Thymbra* L., *Monarda punctata* L.

Carvacrol, $C^6H^3 \begin{cases} CH^3 & (1) \\ OH & (2) \\ C^3H^7 & (4) \end{cases}$. — Famille des Anacardiacées : Faux poivrier.

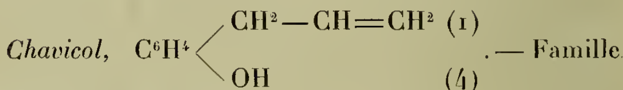
Famille des Labiées : *Pycnanthemum lanceolatum* Pursh, Origan (?), Origan de Trieste, Origan de Smyrne, Thym, Serpolet, *Thymus capitatus* Hoffmgg. et Link(?), Sarriette des jardins, Sarriette des montagnes, *Monarda punctata* L., *Monarda fistulosa* L., *Monarda citriodora* Cerv.

Famille des Lauracées : Camphrier (bois).

Famille des Cupressacées : *Thuya articulata* Wahl.

On voit que, comme le thymol son isomère, le carvacrol est surtout répandu chez les Labiées.

Phénol à chaîne latérale non saturée.

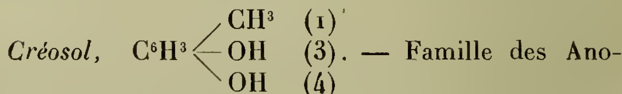


Chavicol, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} CH^2-CH=CH^2 & (1) \\ OH & (4) \end{array} \right.$. — Famille des Myrtacées : Bay.

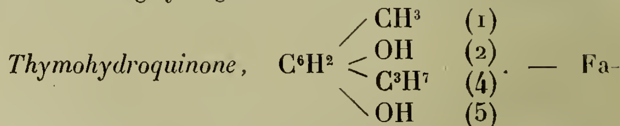
Famille des Pipéracées : Bétel.

2. — DIPHÉNOLS ET QUINONES

Diphénols et Quinones à chaînes latérales saturées.



Créosol, $C^6H^3 \left\langle \begin{array}{ll} CH^3 & (1) \\ OH & (3) \\ OH & (4) \end{array} \right.$. — Famille des Anonacées : Ylang-ylang.



Thymohydroquinone, $C^6H^2 \left\langle \begin{array}{ll} CH^3 & (1) \\ OH & (2) \\ C^3H^7 & (4) \\ OH & (5) \end{array} \right.$. — Famille des Ombellifères : Fenouil (?).

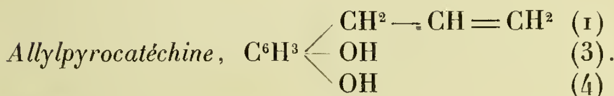
Famille des Labiées : *Monarda fistulosa* L., *Monarda citriodora* Cerv.

Famille des Cupressacées : *Thuya articulata* Wahl.

Thymoquinone, $C^6H^2(O^2)(CH^3)(C^3H^7)$. — Famille des Labiées : *Monarda fistulosa* L.

Famille des Cupressacées : *Thuya articulata* Wahl.

Diphénols à chaîne latérale non saturée.



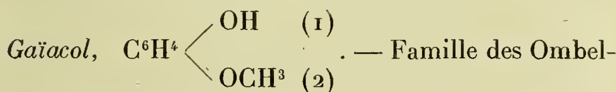
Allylpyrocatéchine, $C^6H^3 \left\langle \begin{array}{ll} CH^2-CH=CH^2 & (1) \\ OH & (3) \\ OH & (4) \end{array} \right.$.

— Famille des Pipéracées : Bétel de Java.

3. — PHÉNOLS-ÉTHERS DE PHÉNOLS

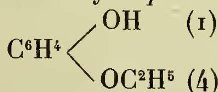
Les uns ne renferment pas de chaîne latérale non saturée, les autres contiennent un groupement propénylique ou allylique.

Composés sans chaîne latérale non saturée.



Gaïacol, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} OH & (1) \\ OCH^3 & (2) \end{array} \right.$. — Famille des Ombellifères : Céleri.

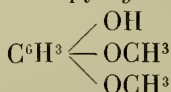
Éther éthylique de l'hydroquinone,



$$C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} OH & (1) \\ OC^2H^5 & (4) \end{array} \right.$$

Famille des Magnoliacées : Badiane.

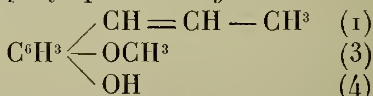
Éther diméthylique du pyrogallol,



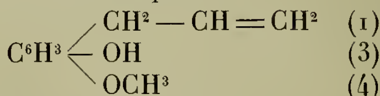
Ce composé existe dans une plante algérienne non déterminée.

Composés à chaîne latérale non saturée.

Nous aurons à mentionner dans ce groupe : l'*eugénol*, $C^6H^3 \begin{cases} CH^2 - CH = CH^2 & (1) \\ OCH^3 & (3) \\ OH & (4) \end{cases}$, corps que l'on rencontre fréquemment dans les essences; son isomère propénylique, l'*isoeugénol,*



moins répandu que l'eugénol, pouvant s'obtenir par isomérisation de celui-ci à l'aide de la potasse alcoolique à l'ébullition et donnant, par oxydation, de la vanilline, $C^6H^3 \begin{cases} CHO & (1) \\ OCH^3 & (3) \\ OH & (4) \end{cases}$, principe odorant de la vanille; enfin le *bételphénol,*



qui ne diffère de l'eugénol que par la permutation des groupements OH et OCH^3.

On remarquera dans la suite que, d'une manière géné-

rale, les composés à chaîne latérale allylique sont plus répandus que leurs isomères propényliques.

Eugénol. — C'est surtout parmi les Lauracées qu'on rencontre l'eugénol, ainsi que le montre l'énumération ci-dessous :

Famille des Magnoliacées : Badiane et Badiane du Japon.

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Canellacées : Cannelle blanche.

Famille des Burséracées : Myrrhe.

Famille des Légumineuses : Cassie (*Acacia cavenia* Bert.).

Famille des Rosacées : Benoîte, Rosier (fleurs).

Famille des Myrtacées : Piment (fruits), Bay, Bay des Bermudes, Giroflier (fleurs).

Famille des Labiées : Basilic de Java, Patchouli.

Famille des Aristolochiacées : *Asarum arifolium* Michx., *Asarum Blumei* Duch.

Famille des Monimiacées : Boldo.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (écorce et feuilles), Cannelle du Japon (tronc et feuilles), Culilawan, *Cinnamomum pedatinervium* Meissn., Cannelle giroflée (?), Camphre, Sassafras (bois), Laurier (feuilles), Laurier de Californie, Massoy, Apopine.

Famille des Euphorbiacées : Cascarille.

Famille des Zingibéracées : Galanga.

Famille des Aracées : Acore.

Isoeugénol. — L'isoeugénol est beaucoup plus rare que son isomère allylique. Jusqu'ici il n'a été rencontré que dans l'essence d'Ylang-ylang (Anonacées).

Bételphénol. — Existe dans l'essence de Bétel (Pipéracées).

4. — ÉTHERS DE PHÉNOLS

Éthers de phénols sans chaîne latérale non saturée.

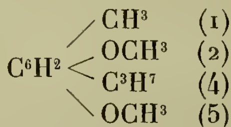
Éther méthylique du para-crésol, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} CH^3 & (1) \\ OCH^3 & (4) \end{array} \right.$

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Éther méthylique du phlorol, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} C^2H^5 & (1) \\ OCH^3 & (2) \end{array} \right.$

Famille des Composées : Arnica.

Éther diméthylique de la thymohydroquinone,

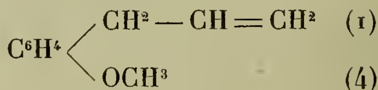


— Famille des Composées : *Eupatorium triplinerve* Wahl., Arnica.

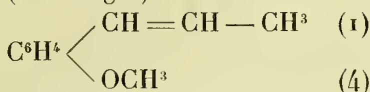
Éthers de phénols à chaîne latérale non saturée.

On rencontre à l'état naturel les deux isomères suivants :

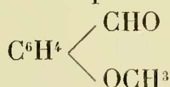
L'*estragol* (méthylchavicol),



et l'*anéthol* (isoestragol),

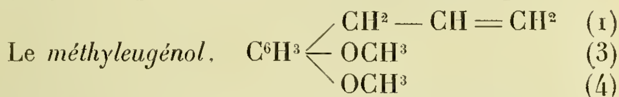


On passe du premier au second par ébullition avec la potasse alcoolique. En oxydant modérément l'anéthol, on obtient l'aldéhyde anisique,

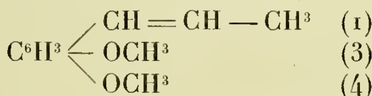


employée en parfumerie sous le nom d'aubépine.

Le *méthyleugénol*,

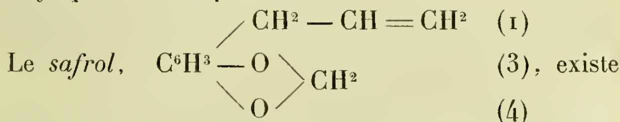


et son isomère propénylique le *méthylisoeugénol*,

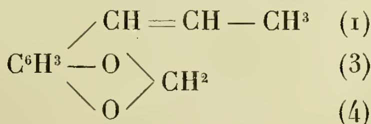


existent tous deux dans les essences. Remarquons, en passant, que le méthyleugénol est identique à l'éther méthylique du bételphénol.

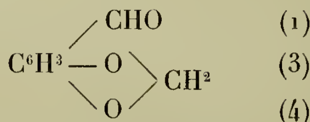
Le *safrol*,



existe notamment dans les essences de camphre et de sassafras. Son isomère propénylique, l'isosafrol,

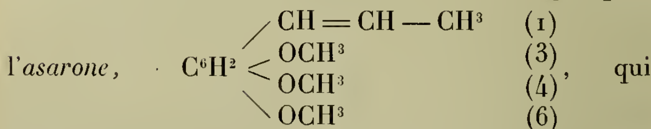


n'a pas encore été signalé dans la nature. On l'obtient par isomérisation du safrol à l'aide de la potasse et, industriellement, on le convertit, par oxydation, en pipéronal (héliotropine),



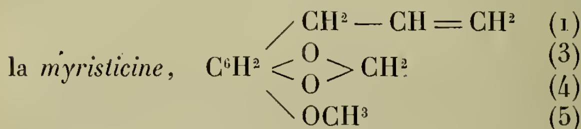
Nous avons encore à mentionner, dans ce groupe :

l'*asarone*,

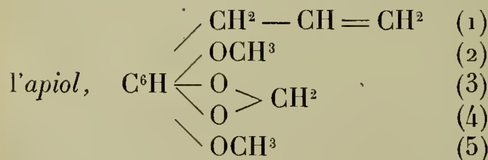


qui s'oxyde d'une façon analogue à l'isoeugénol, à l'anéthol, à l'isosafrol, pour donner l'aldéhyde asarique;

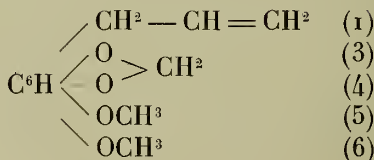
la *myristicine*,



l'*apiol*,



l'*apiol d'aneth*,



ces trois derniers, susceptibles de fournir les isomères propényliques correspondants.

Estragol. — Famille des Magnoliacées : Badiane.

Famille des Myrtacées : Bay.

Famille des Ombellifères : Anis, Cerfeuil, Fenouil.

Famille des Composées : Estragon.

Famille des Labiées : Basilic de France et de la Réunion, *Pseudocymopterus anisatus* Gray (?).

Famille des Lauracées : Avocatier, Laurier (feuilles).

Famille non déterminée : Essence dite d'écorce d'anis.

Anéthol. — Famille des Magnoliacées : Badiane, *Magnolia Kobus* D. C.

Famille des Ombellifères : Anis, *Osmorrhiza longistylis* D. C., Fenouil, Fenouil de Macédoine, Fenouil des Indes, Fenouil du Japon.

Famille non déterminée : Essence dite d'écorce d'anis.

Méthyleugénol. — Famille des Magnoliacées : Champaca.

Famille des Anonacées : Ylang-ylang.

Famille des Rutacées : *Evodia simplex* Cordem.

Famille des Légumineuses : *Acacia cavenia* Bert.

Famille des Myrtacées : Piment (fruits), Bay.

Famille des Ombellifères : Fenouil.

Famille des Aristolochiacées : Asaret, Serpentaire du Canada, *Asarum arifolium* Michx.

Famille des Pipéracées : Matico, Bétel de Java.

Famille des Monimiacées : Para-coto.

Famille des Lauracées : Culilawan, *Cinnamomum pedunculatum* Nees, *Cinnamomum pedatinervium* Meissn., Laurier (feuilles), Laurier de Californie.

Famille des Aracées : Acore du Japon.

Famille des Graminées : Citronnelle.

Méthylisoeugénol. — Famille des Aristolochiacées : *Asarum arifolium* Michx.

Safrol. — Se trouve surtout chez les Lauracées.

Famille des Magnoliacées : Badiane (feuilles ?), Badiane du Japon.

Famille des Aristolochiacées : *Asarum arifolium* Michx, *Asarum Blumei* Duch.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan, *Cinnamomum pedatinervium* Meissn., Sassafras, Camphrier (bois), Laurier de Californie, Massoy, Apopine.

Asarone. — Famille des Aristolochiacées : Asaret, *Asarum arifolium* Michx.

Famille des Pipéracées : Matico.

Famille des Aracées : Acore.

Myristicine. — Famille des Ombellifères : Persil français.

Famille des Myristicacées : Muscade.

Apiol. — Famille des Ombellifères : Persil (feuilles et graines).

Famille des Lauracées : Camphrier du Venezuela.

Apiol d'Aneth. — Famille des Ombellifères : Aneth (herbe), Aneth des Indes orientales.

Aldéhydes.

Nous aurons à considérer les aldéhydes terpéniques, qui ne sont pas très nombreuses, et les aldéhydes non terpéniques, plus largement représentées.

I. — ALDÉHYDES DE LA SÉRIE TERPÉNIQUE

Elles comprennent : 1° les *aldéhydes terpéniques* proprement dites, qui correspondent soit à des alcools $C^{10}H^{18}O$ (leur formule est alors $C^{10}H^{16}O$), soit à des alcools $C^{10}H^{20}O$ (elles possèdent, dans ce cas, la formule $C^{10}H^{18}O$) ; 2° les *aldéhydes sesquiterpéniques*.

Aldéhydes terpéniques.

1° Aldéhydes $C^{10}H^{16}O$. — La plupart des aldéhydes terpéniques possèdent la formule $C^{10}H^{16}O$: le *citral* et le *néral*, qui sont des isomères stéréochimiques, correspondent respectivement au géraniol et au nérol. Le citral est très répandu dans les huiles essentielles. Le *phellandral* existe dans l'essence de Fenouil d'eau et paraît être une aldéhyde tétrahydrocuminique. On trouve aussi une *aldéhyde* $C^{10}H^{16}O$ dans l'essence de Lemon grass (à côté du citral), et une autre dans l'essence de Ginger grass.

Citral. — Le citral est une des aldéhydes les plus répandues dans les huiles essentielles.

Famille des Magnoliacées : Kobushi.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Limettier des Indes occidentales (fruits), Oranger à fruits doux (feuilles), Cédratier (fruits), Citronnier (feuilles et fruits), Mandarinier (fruits).

Famille des Rosacées : Rosier (fleurs).

Famille des Myrtacées : *Leptospermum liversidgei*

Baker et Sm., *Eucalyptus Staigeriana* F. v. M., *Eucalyptus fraxinoïdes* D. et M., *Eucalyptus patentinervis* R. T. B., *Backhousia citriodora* R. Müller, *Calypthranthes paniculata* Ruiz et Pav., Piment (feuilles), Bay.

Famille des Verbénacées : Verveine.

Famille des Labiées : Mélisse, *Monarda citriodora* Cerv.

Famille des Pipéracées : Poivre du Japon.

Famille des Lauracées : Cannelle du Japon (feuilles), Sassafras (feuilles), *Tetranthera polyantha* Nees var. *citrata* (écorce, feuilles et fruits).

Famille des Zingibéracées : Gingembre.

Famille des Graminées : *Andropogon Schœnanthus* de la Nouvelle-Calédonie, Lemon grass.

Phellandral. — Famille des Ombellifères : Fenouil d'eau.

2° ALDÉHYDES $C^{10}H^{18}O$. — Elles sont représentées par le *citronnellal*, qui correspond au citronnellol. C'est généralement le citronnellal droit que l'on rencontre dans les essences. Toutefois, le citronnellal gauche a été signalé dans une huile essentielle d'origine botanique inconnue et dénommée « Java lemon oil ».

Famille des Rutacées : *Toddalia aculeata* Lam., Citronnier (fruits), Mandarinier (fruits).

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus citriodora* Hook.

Famille des Labiées : Mélisse.

Famille des Lauracées : *Tetranthera polyantha* Nees var. *citrata* (écorce).

Famille des Graminées : *Andropogon Schœnanthus* de la Nouvelle-Calédonie, Lemon grass, Citronnelle.

Aldéhydes sesquiterpéniques.

On n'en connaît qu'un représentant, le *santalal*, $C^{15}H^{24}O$, qui se trouve dans l'essence de Santal des Indes orientales (Santalacées).

2. — ALDÉHYDES NON TERPÉNIQUES

Aldéhydes de la série grasse.

Aldéhyde formique, H — CHO. — Famille des Lauracées : Apopine.

Aldéhyde acétique, CH^3 — CHO. — Famille des Ombellifères : Carvi et Anis.

Famille des Labiées : Menthe poivrée.

Famille des Lauracées : Camphrier (bois).

Aldéhyde butyrique, $CH^3 . (CH^2)^2 . CHO$. — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill.

Aldéhyde valérique, $CH^3 . (CH^2)^3 . CHO$, *et isovalérique*, $(CH^3)^2 = CH — CH^2 — CHO$. — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill., Cajeput, Niaouli (?).

Famille des Labiées : Lavande, Menthe poivrée.

Aldéhyde caproïque, $CH^3 . (CH^2)^4 . CHO$. — Famille des Myrtacées : *Eucalyptus globulus* Labill.

Aldéhyde octylique, $CH^3 . (CH^2)^6 . CHO$. — Famille des Rutacées : Citronnier (fruits).

Aldéhyde nonylique, $CH^3 . (CH^2)^7 . CHO$. — Famille des Rutacées : Citronnier (fruits).

Famille des Rosacées : Rosier (fleurs).

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan.

Famille des Iridacées : Iris.

Aldéhyde décylique, $CH^3 . (CH^2)^8 . CHO$. — Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs), Oranger à fruits doux (fruits).

Famille des Légumineuses : Cassie.

Famille des Iridacées : Iris.

Famille des Graminées : Lemon grass.

Famille des Abiétacées : Sapin (aiguilles).

Aldéhyde laurique, $C^{11}H^{23} - CHO$. — Famille des Abiétacées : Sapin (aiguilles).

Aldéhyde myristique, $C^{13}H^{27} - CHO$. — Famille des Lauracées : *Ocotea usabarensis* Engl.

Aldéhyde oléique, $C^{17}H^{33} - CHO$. — Famille des Iridacées : Iris.

Aldéhydes de la série aromatique.

Aldéhyde benzoïque, $C^6H^5 - CHO$. — Le plus souvent l'aldéhyde benzoïque prend naissance, chez les plantes, en même temps que l'acide cyanhydrique, par dédoublement de glucosides. Et l'on verra, dans le chapitre IV, combien nombreux sont les végétaux renfermant des glucosides cyanhydriques. Mais ici, nous indiquerons seulement la présence de l'aldéhyde benzoïque chez les végétaux dont les huiles essentielles ont été extraites.

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs).

Famille des Légumineuses : *Indigofera galegoïdes* D. C. et Cassie.

Famille des Rosacées : Pêcher (noyaux), Cerisier (noyaux), Prunier (noyaux), Prunellier (feuilles et fleurs), *Prunus virginiana* L., Laurier-cerise, *Prunus padus* (écorce), Amandier (fruits).

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus viminalis* Labill., Cajeput (?), Niaouli (?).

Famille des Labiées : Patchouli.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (écorce et feuilles).

Aldéhyde hydrocinnamique, $C^6H^5 . (CH^2)^2 . CHO$. — Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (écorce ?).

Aldéhyde cuminique, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} CHO & (1) \\ C^3H^7 & (4) \end{array} \right.$. — Famille des Burséracées : Myrrhe.

Famille des Légumineuses : Cassie (*Acacia Farnesiana* Willd.).

Famille des Myrtacées : *Eucalyptus odorata* Behr.

Famille des Ombellifères : Ciguë vireuse et Cumin.

Famille des Monimiacées : Boldo.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (écorce).

Aldéhyde cinnamique, $C^6H^5 — CH = CH — CHO$. — Famille des Labiées : Patchouli.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (racines, écorce, feuilles), Cannelle de Chine, Cannelle du Japon (tronc et racines). *Cinnamomum Oliveri* F. M. Bailey.

Aldéhyde salicylique, $C^6H^4 \left\langle \begin{array}{ll} CHO & (1) \\ OH & (2) \end{array} \right.$. — Famille des Rosacées : Reine des prés.

Vanilline, $C^6H^3 \left\langle \begin{array}{ll} CHO & (1) \\ OCH^3 & (3) \\ OH & (4) \end{array} \right.$. — Famille des Légumineuses : Baume du Pérou.

Famille des Rosacées : Reine des prés.

Famille des Composées : Dahlia.

Famille des Orchidacées : Vanille.
Famille des Styracées : Benjoin.

Aldéhyde anisique, $C^6H^4 \begin{cases} CHO & (1) \\ OCH^3 & (4) \end{cases}$. — Famille des Magnoliacées : Badiane.

Famille des Légumineuses : Cassie.
Famille des Ombellifères : Fenouil.

Héliotropine, $C^6H^3 \begin{cases} CHO & (1) \\ O \\ O \end{cases} > CH^2 \quad (3)(4)$. — Famille des Rosacées : Reine des prés.

Aldéhyde asarique, $C^6H^2 \begin{cases} CHO & (1) \\ OCH^3 & (3) \\ OCH^3 & (4) \\ OCH^3 & (6) \end{cases}$. — Famille des Aracées : Acore.

Aldéhyde ortho-méthoxycinnamique (méthyl-ortho-coumarique), $C^6H^4 \begin{cases} CH = CH - CHO & (1) \\ OCH^3 & (2) \end{cases}$. — Famille des Lauracées : Cannelle de Chine.

Aldéhyde para-méthoxycinnamique,

$$C^6H^4 \begin{cases} CH = CH - CHO & (1) \\ OCH^3 & (4) \end{cases}$$

— Famille des Composées : Estragon.

Aldéhyde du groupe du furfurane.

Furfurol. — Famille des Malvacées : Ambrette.

Famille des Rutacées : Santal des Indes occidentales et Oranger à fruits amers (feuilles).

Famille des Myrtacées : Giroflier.

Famille des Ombellifères : Carvi.

Famille des Rubiacées : Café.

Famille des Labiées : Lavande.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan.

Famille des Iridacées : Iris.

Famille des Graminées : Vétiver.

Famille des Abiétacées : Pin de Finlande.

Famille des Cupressacées : Cyprès.

Aldéhyde non sériée.

Aromadendral. — On rencontre dans les essences d'Eucalyptus (famille des Myrtacées), dont les noms suivent, une aldéhyde $C^9H^{12}O$, l'*aromadendral,* dont l'étude n'a pas été poussée assez loin pour permettre de la sérier.

Eucalyptus trachyphloïa F. v. M., *E. corymbosa* Sm., *E. intermedia* R. T. B., *E. propinqua* D. et M., *E. affinis* D. et M., *E. punctata* D. C., *E. squamosa* D. et M., *E. Cambagei* D. et M., *E. polybractea* R. T. B., *E. dumosa* A. Cunn., *E. oleosa* F. v. M., *E. cneorifolia* D. C., *E. stricta* Sieb. (*E. microphylla* A. Cunn., *E. Cunninghamii* G. Don.), *E. tereticornis* Sm., *E. punctata* D. C., var. *didyma, E. gracilis* F. v. M., *E. viridis* R. T. B., *E. Woollsiana* R. T. B., *E. albens*

Miq. *E.*, *hemiphloïa* F. v. M., *E. rostrata* Schlecht, *E. Fletcheri* R. T. B., *E. dives* Schauer, *E. obliqua* L'Hérit. (*E. gigantea* Hook., *E. falcifolia* Miq., *E. nervosa* F. v. M.), *E. odorata* Behr. (?), *E. salmonophloïa* F. v. M., *E. occidentalis* Engl., *E. marginata* Sm., *E. salubris* F. v. M.

Cétones.

Contrairement à ce qui a lieu pour les aldéhydes, les travaux chimiques sur les huiles essentielles font mention, en ce qui concerne les cétones, d'un nombre plus grand de représentants dans la série terpénique qu'en dehors de cette série.

I. — CÉTONES DE LA SÉRIE TERPÉNIQUE

Ici encore nous aurons à envisager successivement le cas des cétones terpéniques proprement dites et celui des cétones sesquiterpéniques. Nous aurons, parmi les cétones terpéniques, à mentionner une cétone-alcool possédant une structure un peu spéciale.

Cétones terpéniques.

Des *cétones* $C^{10}H^{14}O$ correspondent aux alcools secondaires $C^{10}H^{16}O$. A cette classe appartiennent : 1° la *carvone*, 2° l'*umbellulone*.

Les *cétones* $C^{10}H^{16}O$, qui correspondent aux alcools $C^{10}H^{18}O$, sont assez nombreuses et sont accompagnées généralement par ces alcools dans la plante : *camphre, fenone*, *thuyone*, *dihydrocarvone*, *pulégone*, *verbénone*.

Il existe, à l'état naturel, des *cétones* $C^{10}H^{18}O$: la *menthone*, provenant de l'oxydation du menthol avec lequel elle se trouve dans l'essence de menthe poivrée ; la *pipéritone*, qu'on rencontre dans plusieurs essences d'Eucalyptus ; et l'*hédéomol*.

Il y a lieu de classer, parmi les cétones terpéniques, deux *cétones répondant à la formule* $C^{13}H^{20}O$: l'*irone* et la *cétone de la Cassie*. En effet, l'irone possède une structure tout à fait analogue à l'ionone, qui est le produit, ultérieurement cyclisé, de la condensation du citral, aldéhyde terpénique, avec l'acétone ordinaire. Cette ionone brute est d'ailleurs un mélange de deux isomères, l'α et la β-ionone, et il semble que la cétone de la Cassie soit précisément identique à la β-ionone.

Le *diosphénol*, $C^{10}H^{15}(OH)O$, est une cétone-alcool de la série terpénique. Elle peut être considérée comme un produit de substitution de OH à un hydrogène d'une cétone $C^{10}H^{16}O$. Elle a ceci de particulier que le groupement alcoolique OH se trouve sur un atome de carbone auquel aboutit une double liaison.

Passons en revue ces diverses cétones.

1° CÉTONES $C^{10}H^{14}O$. — *Carvone*. — Elle existe sous les différentes formes optiques : droite, gauche, inactive. On peut l'obtenir en partant du limonène, terpène qui, fréquemment, l'accompagne dans la plante.

Famille des Ombellifères : Carvi et Aneth.

Famille des Labiées : Menthe crépue.

Famille des Lauracées : Kuro-moji.

Famille des Graminées : Ginger grass.

Umbellulone. — Famille des Lauracées : Laurier de Californie.

2° CÉTONES $C^{10}H^{16}O$. — *Camphre*. — Le camphre est

la cétone provenant de l'oxydation du bornéol. On le rencontre sous forme dextrogyre ou sous forme lévogyre principalement dans les familles des Labiées, des Lauracées et des Composées.

Famille des Composées : *Osmitopsis asteriscoïdes* Cass., Matricaire, Tanaisie, *Artemisia herba alba* Asso.

Famille des Labiées : Basilic de la Réunion, *Ocimum canum* Sims., Aspic, *Lavandula Stœchas* L., Sauge, Romarin.

Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (racines), Sassafras (bois). Camphrier, Apopine.

Famille des Zingibéracées : Cardamome de Siam.

Fenone. — La fenone est une cétone analogue au camphre et qui fournit, par hydrogénation, un alcool, le fenol.

Il en existe deux modifications optiques : la droite (dans le Fenouil) et la gauche (dans le Thuya).

Famille des Ombellifères : Fenouil, Fenouil amer sauvage (?), Fenouil des Indes, Fenouil du Japon.

Famille des Cupressacées : Thuya.

Thuyone. — La thuyone est la cétone correspondant au thuyol, à côté duquel on la rencontre, d'ailleurs, dans l'essence d'Absinthe ; elle possède des relations de structure avec le sabinol et le sabinène. Voici sa distribution dans le règne végétal.

Famille des Composées : Tanaisie, Armoise du Japon (?), Absinthe, *Artemisia Barrelieri* Bess.

Famille des Labiées : Sauge.

Famille des Cupressacées : Thuya et *Thuya plicata* Donn.

Dihydrocarvone. — La dihydrocarvone peut s'obtenir par oxydation du dihydrocarvéol, qu'elle accompagne

dans l'essence de Carvi ; le dihydrocarvéol se prépare lui-même par hydrogénation de la carvone.

Famille des Ombellifères : Carvi.

Pulégone. — La pulégone donne, par hydrogénation ménagée, l'alcool correspondant, le pulégol, $C^{10}H^{18}O$, et, par hydrogénation plus complète, le menthol, $C^{10}H^{20}O$. On peut passer du citronnellal à la pulégone. La pulégone existe chez un certain nombre de Labiées : Menthe du Canada, Menthe pouliot, Menthe poivrée de Java, *Pycnanthemum lanceolatum* Gray, *Origanum Dictamnus* L., *Hedeoma pulegioïdes* Pers., *Calamintha Nepeta* Savi, *Bystropogon origanifolius* L'Hérit.

Verbénone. — Famille des Verbénacées : Verveine.

3° Cétones $C^{10}H^{18}O$. — *Menthone.* — Cette cétone prend naissance par oxydation du menthol et aussi par isomérisation du rhodinal, aldéhyde correspondant au rhodinol. La menthone naturelle est le plus souvent lévogyre.

Elle se rencontre principalement chez des Labiées.

Famille des Géraniacées : Géranium.

Famille des Rutacées : Bucco.

Famille des Labiées : Menthe pouliot, Menthe poivrée, *Hedeoma pulegioïdes* Pers., *Calamintha Nepeta* Savi, *Bystropogon origanifolius* L'Hérit.

Pipéritone. — Cette cétone existe dans plusieurs essences d'Eucalyptus (Myrtacées) : *Eucalyptus Rossii* B. et Sm. (*E. micrantha* D. C.), *E. fraxinoïdes* D. et M (?), *E. piperita* Sm., *E. amygdalina* Labill., *E. vitrea* R. T. B., *E. Luehmanniana* F. v. M., *E. coriacea* A. Cunn. (*E. pauciflora* Sieb.), *E. Sieberiana* F. v. M., *E. oreades* R. T. B., *E. dives* Schauer, *E. radiata* Sieb., *E. Delegatensis* R. T. B., *E. obliqua* L'Hér. (*E. gigantea* Hook.,

E. falsifolia Miq., *E. nervosa* F. v. M.), *E. apiculata* B. et Sm., *E. Risdoni* Hook.

Hédéomol. — Famille des Labiées : *Hedeoma pulegioïdes* Pers.

4° Cétones $C^{13}H^{20}O$. — *Irone.* — Famille des Iridacées : Iris.

Cétone de la Cassie. — Famille des Légumineuses : Cassie.

Cétone-alcool. — *Diosphénol.* — Famille des Rutacées : Bucco.

Cétones sesquiterpéniques.

Elles ont un représentant parmi les produits naturels, la *cétone du Lédon*, que l'on rencontre chez le Lédon, de la famille des Éricacées.

2. — CÉTONES NON-TERPÉNIQUES

Cétones de la série grasse.

Acétone, $CH^3 — CO — CH^3$. — Famille des Linacées : Coca.

Famille des Abiétacées : Cèdre de l'Atlas.

Méthylamylcétone n., $CH^3 — CO — (CH^2)^4 — CH^3$. — Famille des Myrtacées : Giroflier.

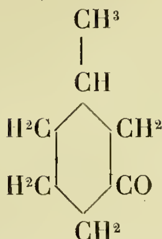
Famille des Lauracées : Cannelle de Ceylan (écorce).

Méthylheptylcétone, $CH^3 — CO — (CH^2)^6 — CH^3$. — Famille des Rutacées : Rue.

Méthylnonylcétone, $CH^3 — CO — (CH^2)^8 — CH^3$. — Famille des Myrtacées : Giroflier.

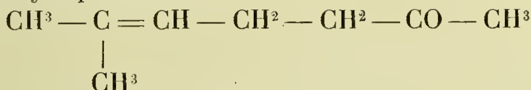
Famille des Rutacées : Rue et *Emplerum serrulatum* Ait.

Méthylhexanone 1.3,



— Famille des Labiées : *Hedeoma pulegioïdes* Pers.

Méthylhepténone,



— Famille des Rutacées : Citronnier (fruits).

Famille des Graminées : Palma rosa, Lemon grass, Citronnelle.

Cette cétone, comme la précédente, dérive des composés terpéniques, mais s'écarte de leur série par sa composition.

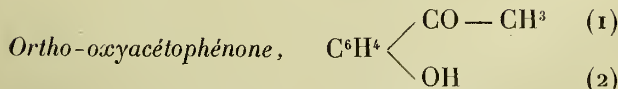
Diacétyle, $CH^3 — CO — CO — CH^3$. — Famille des Rutacées : Santal des Indes occidentales.

Famille des Ombellifères : Carvi.

Famille des Graminées : Vétiver.

Famille des Abiétacées : Pin de Finlande.

Cétones de la série aromatique.



— Famille des Rubiacées : *Chione glabra* D. C.

Pœonol (para-méthoxy-ortho-hydroxy-phénylméthyl-cétone),

$$C^6H^3 \begin{cases} CO - CH^3 & (1) \\ OH & (2) \\ OCH^3 & (4) \end{cases}$$

. — Famille des Renonculacées : Pivoine.

Cétone anisique,

$$C^6H^4 \begin{cases} CH^2 - CO - CH^3 & (1) \\ OCH^3 & (4) \end{cases}$$

— Famille des Ombellifères : Fenouil.

Cétones non sériées.

Cétone du Cèdre de l'Atlas, $C^9H^{14}O$. — Famille des Abiétacées : Cèdre de l'Atlas.

Jasmone, $C^{11}H^{16}O$. — Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs?).

Famille des Oléacées : Jasmin.

Santalone, $C^{11}H^{16}O$. — Famille des Santalacées : Santal des Indes orientales.

Acides, Anhydrides et Lactones.

I. — ACIDES

Les acides sont représentés, on peut dire dans presque toutes les huiles essentielles, sinon dans toutes; et il est facile de le comprendre. Ces composés n'existent-ils pas dans toutes les plantes, et les procédés d'extraction des parfums, soit par distillation, soit à l'aide des dissolvants, ne sont-ils pas de nature à réunir ces corps aux produits odorants ?

Acides gras saturés.

Dans la série des *acides gras saturés*, on rencontre. à l'état libre ou à l'état d'éthers, à peu près tous les termes jusqu'à un certain ordre de grandeur moléculaire : *acide formique*, CH^2O^2 ; *acide acétique*, $C^2H^4O^2$; *acide butyrique*, $C^4H^8O^2$; *acide valérianique*, $C^5H^{10}O^2$; *acide caproïque*, $C^6H^{12}O^2$; *acide isoheptanoïque*, $C^7H^{14}O^2$; *acide caprylique*, $C^8H^{18}O^2$; *acide pélargonique* (nonylique), $C^9H^{18}O^2$; *acide caprique*, $C^{10}H^{20}O^2$; *acide laurique*, $C^{12}H^{24}O^2$; *acide myristique*, $C^{14}H^{28}O^2$; *acide oxymyristique*, $C^{14}H^{27}OH \,.\, O^2$; *acide oxypentadécylique*, $C^{15}H^{29}OH \,.\, O^2$; *acide palmitique*, $C^{16}H^{32}O^2$; *acide stéarique*, $C^{18}H^{36}O^2$.

Acides gras non-saturés.

Parmi les *acides gras non-saturés*, il y a lieu de mentionner : l'*acide méthacrylique*, $CH^3 — C — COOH$,



l'*acide polyméthacrylique ;* les *acides angélique* et *tiglique*, $CH^3 — CH = C(CH^3) — COOH$, qui sont des stéréo-isomères ; l'*acide oléique*, $C^{18}H^{34}O^2$.

Acides de la série aromatique.

La *série aromatique* est représentée par l'*acide benzoïque*, l'*acide phénylacétique*, l'*acide cinnamique*, l'*acide p-méthoxy-cinnamique*, l'*acide salicylique*, l'*acide m-*

méthoxy-salicylique, l'*acide anisique*, l'*acide anthranilique* et l'*acide méthylantrhanilique* (voir, au paragraphe consacré aux alcools, les éthers sous la forme desquels on rencontre ces acides).

Acides non sériés.

Un certain nombre d'acides ne sont pas suffisamment connus pour pouvoir être sériés. Dans cet ordre d'idées nous citerons : l'*acide alantolique*, $C^{14}H^{20}(OH)(COOH)$, et l'*acide eudesmique*, $C^{14}H^{18}O^2$.

Acides terpéniques.

Par leurs formules brutes, certains acides naturels paraissent se rattacher aux *composés terpéniques*. Tels sont : un *acide* $C^{10}H^{14}O^2$, contenu dans les feuilles de Laurier ; l'*acide térésantalique*, $C^{10}H^{14}O^2$; l'*acide santalique*, $C^{15}H^{24}O^2$; un autre *acide* $C^{15}H^{24}O^2$, extrait du Vétiver ; enfin un *acide* $C^{15}H^{26}O^3$, de l'essence de Caparrapi.

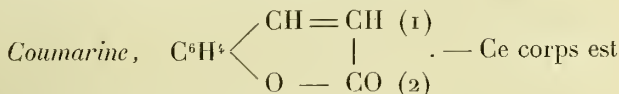
2. — ANHYDRIDES

Il y a lieu de citer un représentant de cette classe de composés : l'*anhydride sédanonique*, $C^{12}H^{16}O^2$, qui est non pas un anhydride d'acide résultant de l'élimination d'une molécule d'eau entre deux groupements acides COOH, mais bien le résultat de l'élimination d'une molécule d'eau dans une seule molécule d'un acide cétonique monobasique. Ce corps est un des produits odorants du Céleri (Ombellifères).

3. — LACTONES

L'essence de Céleri (Ombellifères) renferme une lactone, la *sédanolide*, $C^{12}H^{18}O^2$, dérivée d'un acide-alcool.

Mais on a signalé soit comme produits odorants, soit comme substances volatiles accompagnant les produits odorants dans certaines huiles essentielles, plusieurs lactones dérivées d'acides-phénols. Dans cet ordre d'idées nous mentionnerons les composés suivants :



ainsi distribué dans la nature :

Famille des Légumineuses : Baume du Pérou. *Dipteryx odorata* Willd. (fève Tonka), Mélilot.

Famille des Rubiacées : Aspérule odorante.

Famille des Composées : *Liatris odoratissima* Willd.

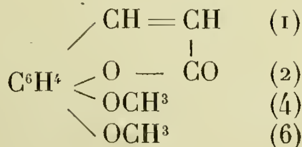
Famille des Labiées : Lavande.

Famille des Orchidacées : *Aceras anthropophora* R. Br., *Angræcum fragans* Thon. (feuilles de Faham).

Famille des Graminées : Flouve odorante.

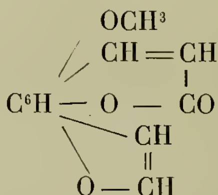
Ombelliférone. — Ce n'est autre chose que la *p*-oxycoumarine. On la trouve dans le Sumbul (Ombellifères).

Citroptène. — C'est une substance inodore,



qu'on rencontre chez divers représentants de la famille des Rutacées : Cédratier (fruits?), Citronnier (fruits), Limettier (fruits).

Bergaptène. — C'est aussi un constituant inodore de l'essence extraite du fruit d'une Rutacée, la Bergamote. Sa formule est :



Alantolactone (Hélénine), $C^{14}H^{20}\left\langle \begin{array}{l} O \\ | \\ CO \end{array}\right.$. — Famille des Composées : Aunée.

Lactone de la Serpentaire, $C^{14}H^{20}O^{2}$. — Famille des Aristolochiacées : Serpentaire du Canada.

Raphanolide, $C^{29}H^{54}O^{4}$. — Famille des Crucifères : Cresson de fontaine, Radis.

Oxydes.

Ces corps sont peu nombreux dans les essences, mais l'un d'eux est en revanche très répandu.

I. — OXYDES TERPÉNIQUES

Eudesmol. — L'eudesmol, $C^{10}H^{16}O$, dont la constitution est encore inconnue, est un principe solide con-

tenu dans les espèces suivantes d'Eucalyptus (Myrtacées) :

Eucalyptus Baeuerleni F. v. M., *E. camphora* R. T. B., *E. goniocalyx* F. v. M., *E. globulus* Labill., *E. Smithii* R. T. B., *E. Cambagei* D. et M., *E. stricta* Sieb. (*E. microphylla* A. Cunn., *E. Cunninghamii* G. Don.), *E. fastigata* D et M., *E. macrorhyncha* F. v. M., *E. fraxinoïdes* D. et M., *E. piperita* Smith, *E. amygdalina* Labill., *E. Luehmanniana* F. v. M., *E. oreades* R. T. B (*E. virgata* Sieb. var. *altior*). *E. Macarthuri* D. et M., *E. virgata* Sieb.

Eucalyptol ou cinéol. — L'eucalyptol ou cinéol, $C^{10}H^{18}O$, se trouve dans un très grand nombre d'huiles essentielles. Il possède d'étroites relations avec les terpènes. Nous avons indiqué plus haut qu'il se trouve parmi les produits d'oxydation du phellandrène et qu'il peut prendre naissance à partir du terpinéol.

On le rencontre principalement parmi les produits odorants des Myrtacées, des Lauracées, des Zingibéracées, des Labiées, des Composées.

Famille des Magnoliacées : Badiane (fruits).

Famille des Canellacées : Cannelle blanche.

Famille des Rutacées : Rue.

Famille des Légumineuses : Carqueja.

Famille des Myrtacées : *Melaleuca Leucadendron* L., *M. Leucadendron* var. *lancifolia*, *Melaleuca minor* Smith, *Melaleuca viridiflora* Brong. et Gris., *Melaleuca acuminata* F. v. Mull., *M. decussata* R. Br. (?), *M. ericifolia* Sm. (?), *M. uncinata* R. Br. (?), *M. linariifolia* Sm., *M. thymifolia* Sm., *M. Wilsonii* F. v. M., *Eucalyptus resinifera* Sm., *E. polyanthema* Schau., *E. Behriana* F. v. M., *E. Rossii* B. et Sm. (*E. micrantha* D. C.), *E.*

pendula A. Cunn., *E. dealbata* A. Cunn., *E. tereticornis* Sm. var. *linearis*, *E. rostrata* Schl. var. *borealis*, *E. maculosa* R. T. B., *E. camphora* R. T. B., *E. punctata* D. C., *E. squamosa* D. et M., *E. Bridgesiana* R. T. B., *E. goniocalyx* F. v. M., *E. bicolor* A. Cunn., *E. viminalis* var. (a), *E. populifolia* Hook., *E. longifolia* Link et Otto, *E. Maideni* F. v. M., *E. globulus* Labill., *E. pulverulenta* Sims, *E. cinerea* F. v. M., *E. Stuartiana* F. v. M. var. *cordata*, *E. Morrisii* R. T. B., *E. Smithii* R. T. B., *E. sideroxylon* A. Cunn., *E. Risdoni* Hook., *E. cordata* Labill., *E. Cambagei* D. et M., *E. polybractea* R. T. B., *E. dumosa* A. Cunn., *E. oleosa* F. v. M., *E. cneorifolia* D. C., *E. stricta* Sieb., *E. melliodora* A. Cunn., *E. ovalifolia* R. T. B. var. *lanceolata*, *E. salmonophloia* F. v. M., *E. redunca* Schauer, *E. Baeuerleni* F. v. M., *E. propinqua* D. et M., *E. affinis* D. et M., *E. paludosa* R. T. B., *E. lactea* R. T. B., *E. rubida* D. et M., *E. intertexta* R. T. B., *E. maculata* Hook., *E. microcorys* F. v. M., *E. hemilampra* F. v. M., *E. quadrangulata* D. et M., *E. conica* D. et M., *E. Bosistoana* F. v. M., *E. eugenioïdes* Sieb., *E. odorata* Behr., *E. paniculata* Sm., *E. tereticornis* Sm., *E. punctata* D. C. var. *didyma*, *E. gracilis* F. v. M., *E. viridis* R. T. B., *E. Woollsiana* R. T. B., *E. albens* Miq., *E. hemiphloïa* F. v. M., *E. viminalis* Labill., *E. rostrata* Schlecht, *E. ovalifolia* R. T. B., *E. Dawsoni* R. T. B., *E. angophoroïdes* R. T. B., *E. Baileyana*, *E. fastigata* D. et M., *E. macrorhyncha* F. v. M., *E. capitellata* Smith, *E. nigra* R. T. B., *E. pilularis* Smith, *E. Loxophleba*, *E. Planchoniana* F. v. M., *E. acmenoïdes* Schau. (*E. triantha* Link), *E. fraxinoïdes* D. et M., *E. Fletcheri*

R. T. B., *E. microtheca* F. v. M. (*E. brachypoda* Turcz), *E. hæmastoma* Sm. (*E. signata* F. v. M.), *E. sideroxylon* A. Cunn. var. *pallens*, *E. crebra* F. v. M., *E. siderophloïa* Benth., *E. melanophloïa* F. v. M., *E. piperita* Smith, *E. amygdalina* Labill., *E. amygdalina* var. *latifolia* Maiden et Deane, *E. vitrea* R. T. B., *E. Luehmanniana* F. v. M., *E. coriacea* A. Cunn., *E. oreades* R. T. B., *E. radiata* Sieb., *E. obliqua* L'Hérit., *E. virgata* Sieb., *E. apiculata* B. et Sm., *E. tessellaris* F. v. M., *E. trachyphloïa* F. v. M., *E. corymbosa* Sm., *E. intermedia* R. T. B., *E. botryoïdes* Sm., *E. robusta* Sm., *E. saligna* Sm., *E. umbra* R. T. B., *E. Wilkinsoniana* R. T. B. (E. *hæmastoma* var. F. v. M., *E. lævopinea* var. *minor* R. T. B.), *E. carnea* R. T. B, *E. calophylla* R. Br., *E. diversicolor* F. v. M., *E. occidentalis* Endl., *E. marginata* Sm., *E. salubris* F. v. M., Piment. *Myrtus Cheken* Sprengel.

Famille des Ombellifères : Fenouil doux.

Famille des Composées : *Osmitopsis astericoïdes* Cass., Millefeuille, Iva, Armoise, *Artemisia frigida* Willd., Armoise du Japon. *Artemisia Ludoviciana* Nutt., Semen-contra, *Artemisia herba alba* Asso.

Famille des Verbénacées : *Vitex trifolia* L.

Famille des Labiées : Basilic de France et de la Réunion, Lavande, Aspic, *Lavandula Stœchas* L., *Lavandula dentata* L., *Lavandula pedunculata* Cav., Menthe crépue de Russie, Menthe poivrée, Hysope, Sauge, Romarin.

Famille des Pipéracées : Bétel de Java, Matico.

Famille des Monimiacées : Boldo.

Famille des Lauracées : Cannelle du Japon (racines), *Cinnamomum pedunculatum* Nees, *Cinnamomum Oli-*

veri F. M. Bailey, *Ocotea usabarensis* Engl., Camphrier (feuilles et bois), Laurier (feuilles et baies), *Tetranthera polyantha* Nees var. *citrata* (feuilles), Laurier de Californie, Kuro-moji, Apopine.

Famille des Zingibéracées : *Kæmpferia rotunda* L., Zédoaire, Cardamome du Bengale, Cardamome du Cameroun, *Amomum Mala* K. Schum., Cardamome de Malabar, Gingembre, Galanga.

2. — OXYDES NON-TERPÉNIQUES

Oxyde de Carline, $C^{13}H^{10}O$. — Famille des Composées : Carline.

Furfurane, C^4H^4O, *et α-Méthylfurfurane*, $CH^3.C^4H^3O$. — Famille des Abiétacées : Pin de Finlande.

Composés azotés.

Acide cyanhydrique (Nitrile formique), H.CN. — C'est un produit de dédoublement de glucosides très répandus dans le règne végétal. Ces dédoublements donnent généralement lieu, en même temps, à la mise en liberté d'aldéhyde benzoïque. Ce corps peut s'unir à l'acide cyanhydrique : c'est ainsi qu'on rencontre le *phényloxyacétonitrile*, C^6H^5 — CHOH — CN, dans l'essence d'amandes amères, où il s'est formé postérieurement à la préparation de cette huile essentielle.

Dans le chapitre IV, nous étudierons la question de la distribution des glucosides cyanhydriques dans le règne végétal. Nous passerons uniquement en revue ici, parmi les plantes à acide cyanhydrique, celles dont on a extrait les huiles essentielles.

Famille des Légumineuses : *Indigofera galegoïdes* D. C.

Famille des Rosacées : Pêcher (noyaux), Cerisier (noyaux), Prunier (noyaux), Prunellier (feuilles et fleurs), *Prunus virginiana* L., Laurier-cerise, *Prunus Padus* L. (écorce), Amandier (fruits), Reine des prés.

Nitrile phénylacétique, $C^6H^5 - CH^2 - CN$. — Famille des Crucifères : Cresson des jardins.

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs?).

Nitrile phénylpropionique, $C^6H^5 - CH^2 - CH^2 - CN$. — Famille des Crucifères : Cresson de fontaine.

Cyanure d'allyle, $CH^3 - CH = CH - CN$. — Famille des Crucifères : Moutarde, Raifort.

Anthranilate et méthylanthranilate de méthyle. — Voir plus haut : *Alcools et Éthers.*

Indol, $C^6H^4 \langle {}^{NH}_{CH} \rangle CH$. Il a été signalé dans quelques fleurs et doit être certainement plus répandu que ne l'indiquent les résultats connus à ce jour. On sait que c'est un produit de décomposition de la matière albuminoïde.

Famille des Rutacées : Oranger à fruits amers (fleurs).

Famille des Oléacées : Jasmin.

Damascénine, $C^9H^{11}NO^3$. — Famille des Renonculacées : *Nigella damascena* L.

Composés azotés divers. — Nombreuses sont les essences : petit-grain (essence de feuilles d'Oranger), Patchouli, etc., dans lesquelles des composés basiques ont été signalés. Nous allons trouver d'autres composés azotés parmi les combinaisons sulfurées.

Composés sulfurés.

Les composés sulfurés que l'on rencontre dans les essences appartiennent soit au groupe des sulfures, soit à celui des sénevols (éthers isosulfocyaniques). Ce sont surtout les Liliacées et les Crucifères qui les fournissent.

1. — SULFURES

Sulfure de carbone, CS^2. — Famille des Crucifères : Moutarde, Raifort.

Sulfure de méthyle, $(CH^3)^2S$. — Famille des Labiées : Menthe poivrée..

Sulfures et polysulfures de vinyle, d'allyle, d'allyl-propyle. — Le sulfure de vinyle, $(CH^2 = CH)^2S$; le disulfure de diallyle, $C^3H^5 - S . S - C^3H^5$; le disulfure d'allyl-propyle, $C^3H^5 - S . S - C^3H^7$; les disulfures : $C^7H^{14}S^2$, $C^8H^{16}S^2$, $C^{10}H^{18}S^2$, $C^{11}H^{20}S^2$; le trisulfure de diallyle, $C^3H^5 - S . S . S - C^3H^5$; le tétrasulfure, $C^4H^{10}S^4$; enfin, des polysulfures de vinyle ont été signalés dans les familles suivantes :

Famille des Crucifères : Alliaire.

Famille des Ombellifères : *Assa fœtida*.

Famille des Liliacées : Ail, Oignon, Ail des ours.

2. — SÉNEVOLS (ÉTHERS ISOSULFOCYANIQUES)

On sait qu'il existe deux séries d'éthers sulfocyaniques isomériques :

1° Les éthers sulfocyaniques proprement dits :



$$R - S - C \equiv N ;$$

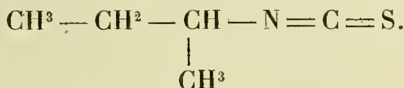
2° Les éthers isosulfocyaniques ou sénevols :



$$R - N = C = S.$$

Ce sont ces derniers qu'on rencontre dans les essences et surtout dans les essences de Crucifères.

Isosulfocyanate de butyle secondaire,



$$CH^3 - CH^2 - CH(CH^3) - N = C = S.$$

— Famille des Crucifères : *Cardamine amara* L., Cochléaire.

Isosulfocyanate d'allyle, $C^3H^5 - N = C = S$. — Famille des Crucifères : Cresson des Jardins, Tabouret, Raifort, Alliaire (semences et racines), Moutarde noire.

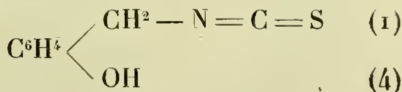
Isosulfocyanate de benzyle



$$C^6H^5 - CH^2 - N = C = S.$$

— Famille des Géraniacées : Capucine.

Isosulfocyanate de p-oxybenzyle,



$$C^6H^4 \left< \begin{array}{ll} CH^2 - N = C = S & (1) \\ OH & (4) \end{array} \right.$$

— Famille des Crucifères : Moutarde blanche.

Isosulfocyanate de phényléthyle



$$C^6H^5 - CH^2 - CH^2 - N = C = S.$$

— Famille des Résédacées : Réséda (racines).

La nature des produits odorants dans ses rapports avec l'anatomie et la classification des plantes.

Nous avons vu, en terminant le Chapitre premier de cet ouvrage, que toute cause influant plus ou moins directement sur la nutrition d'une plante produisait des modifications dans ses caractères anatomiques et physiologiques et, corrélativement, dans la composition des huiles essentielles qu'elle sécrète.

Ceci nous amène tout naturellement à penser qu'il puisse y avoir des rapports entre certains caractères de l'anatomie des plantes et la nature des huiles essentielles qui y sont contenues.

L'étude de ces rapports ne semble pas, jusqu'ici, avoir beaucoup tenté les chercheurs, bien qu'elle ait pu conduire, dans certains cas, à des résultats intéressants.

MM. Richard T. Baker et Henry G. Smith[1] ont étudié avec le plus grand soin les *Eucalyptus*, et ils se sont aperçus qu'il existait une relation étroite entre la nature des constituants des essences des diverses espèces et la diposition des nervures de leurs feuilles.

Chez les espèces suivantes, connues sous le nom commun de « bloodwoods », *E. corymbosa* Sm., *E. trachyphloïa* F. v. M., *E. eximia* Schauer, etc., le principal constituant de l'essence est le pinène. On peut voir, par la figure que nous donnons ci-contre, et qui

[1] Baker (Richard T.) et Smith (Henry G.).

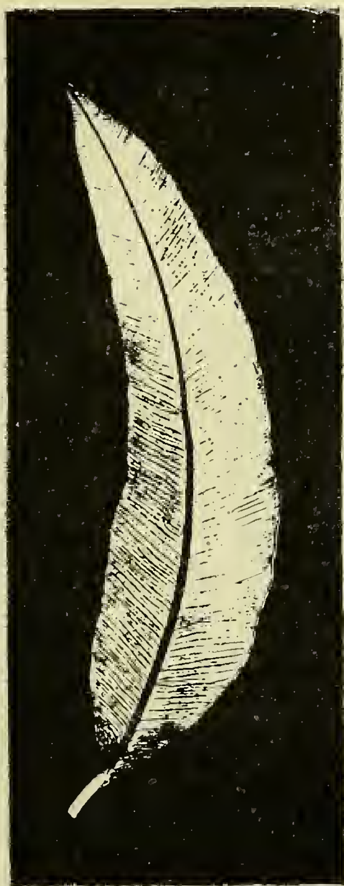


Fig. 3. — Feuille de l'*Eucalyptus corymbosa* Sm. (légèrement réduite). L'arrangement des nervures latérales indique la présenee de *pinène* comme principal constituant de l'huile essentielle et l'absence de *phellandrène.* (Fig. extraite du Mémoire de MM. Baker et Smith.)

est empruntée à l'ouvrage de MM. Baker et Smith, que les nervures latérales de la feuille de l'*Eucalyptus corymbosa* Sm. sont rarement divisées, peu inclinées sur la nervure médiane, et rejoignent une nervure marginale unique. Cette disposition se retrouve chez toutes les espèces dont l'huile essentielle est principalement constituée par du pinène.

L'eucalyptol, par contre, est très abondant dans l'essence d'*Eucalyptus globulus* Labill. et d'autres espèces voisines.

Ici, la nervation des feuilles présente des caractères très différents. Les nervures latérales sont plus écartées, ne sont pas parallèles, et certaines d'entre elles sont mieux marquées.

Enfin, chez les espèces dont l'huile essentielle est riche en phellandrène, par exemple chez l'*Eucalyptus Sieberiana* F. v. M., la feuille présente des caractères différents. La nervure marginale s'écarte du bord et se courbe pour rejoindre, de place en place, des nervures latérales plus proéminentes que les autres.

Celles-ci s'anastomosent pour former des boucles et s'inclinent fortement sur la nervure médiane.

Ainsi donc, chez les *Eucalyptus*, il y a une relation étroite entre la nervation des feuilles et la présence de certains principes dans l'huile essentielle.

Mais MM. Baker et Smith vont plus loin, et ils considèrent que les caractères empruntés à la composition chimique des huiles essentielles ont une valeur spécifique. Ils s'en servent même, concurremment avec des caractères morphologiques, pour étudier la filiation du genre *Eucalyptus* et ses rapports avec des genres voisins, notamment avec le genre *Angophora*.



Fig. 4. — Feuille de l'*Eucalyptus globulus* Labill. (légèrement réduite). La nervation indique que l'huile essentielle contient de l'*eucalyptol* en même temps que du *pinène*, mais que le *phellandrène* est absent.

Ceci nous amène à nous demander quelle peut être la valeur systématique des caractères empruntés à la composition chimique des végétaux et en particulier à celle de leurs huiles essentielles.

Nous avons montré, il est vrai, combien était variable la composition des produits odorants d'une même plante récoltée sous divers climats; mais il est juste d'ajouter que les caractères anatomiques et morphologiques des végétaux varient également sous les influences qui modifient les conditions de la nutrition, ce qui ne les empêche pas de posséder une valeur systématique. Il serait donc prématuré de conclure que la connaissance des produits odorants des végétaux soit sans intérêt au point de vue systématique, et d'ailleurs le travail de MM. Baker et Smith viendrait donner un démenti à cette manière de voir.

En étudiant la composition chimique des bois, M. Gabriel Bertrand[1] a montré qu'il existait des caractères différentiels très constants entre les Gymnospermes et les Angiospermes.

Peut-être l'étude des huiles essentielles fournira-t-elle aussi à la systématique des renseignements précieux ; mais jusqu'ici il est difficile de tirer un renseignement des documents que nous possédons, et que nous exposions en commençant ce chapitre.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, on s'est surtout efforcé, jusqu'ici, d'extraire le parfum des plantes qui en produisaient le plus. Nous pouvons donc nous faire une idée de la diffusion des principes odorants dans le

[1] G. Bertrand, 1, 1899, t. CXXIX, p. 1025.



Fig. 5. — Feuille de l'*Eucalyptus Sieberiana* F. v. M. (légèrement réduite). La nervation indique la prédominance du *phellandrène* dans l'huile essentielle.

règne végétal ; mais il nous est difficile de rechercher des lois générales, dont la découverte semble devoir être seulement le fruit d'une étude systématiquement conduite dans ce but.

CHAPITRE III

DISTRIBUTION DES COMPOSÉS ODORANTS CHEZ LA PLANTE

Généralités.

Nous avons tout d'abord étudié, au cours de ce qui précède, quelle est la nature chimique des huiles essentielles et comment leur composition varie sous l'influence des conditions de sol ou de climat, ou encore sous l'action de parasites.

Ensuite, nous avons voulu montrer comment se distribuent dans le règne végétal les différents principes immédiats dont les mélanges variés constituent les parfums.

Nous nous proposons maintenant de rechercher, dans la plante même, en quels points se trouvent localisés les composés odorants.

Cette étude se présente comme un problème très ardu. En effet, l'emploi des réactifs fort imparfaits que nous possédons, et à la description desquels nous consacrerons la partie suivante de ce chapitre, nous révèle la présence d'huiles essentielles non seulement dans certains appareils, tels que les *poches sécrétrices*, les *canaux sécréteurs*, etc., mais encore dans un grand

nombre de cellules qui, par leurs dispositions anatomiques, ne semblent pas prédestinées à contenir le parfum.

Avant de pousser plus loin notre étude, il faudra donc que nous nous attachions à acquérir, sur l'appareil sécréteur des végétaux, son anatomie, et l'histoire de son développement, des notions aussi complètes que possible.

Nous verrons alors que les organes sécréteurs sont très variés, et nous aurons à nous demander comment se répartissent, dans le règne végétal, les différentes natures d'appareils sécréteurs.

Nous serons ainsi conduits à rechercher de quelle manière l'huile essentielle se rassemble dans les organes sécréteurs; ce qui nous amènera enfin à envisager, à la suite de certains auteurs, les questions délicates se rattachant à l'origine et au transport des composés odorants dans le végétal.

Ces questions offrent le plus haut intérêt; mais nous ne ferons qu'examiner, dans ce chapitre, sur quelles bases anatomiques et microchimiques on s'est proposé jusqu'ici de les résoudre, nous réservant de les étudier au point de vue chimico-physiologique, dans les chapitres qui suivront.

Méthodes de recherches microchimiques des composés odorants.

Nous avons donc, en premier lieu, à nous demander quelles sont les méthodes qui permettent de déterminer la localisation des composés odorants et quelle est la valeur des indications qu'elles fournissent.

En principe, cette recherche se fait sur des coupes très minces, pratiquées dans les organes de la plante que l'on étudie. On traite ces coupes, que l'on observe au microscope, par des substances réagissant, par leurs propriétés physiques ou chimiques, sur les huiles essentielles.

Les résultats de ces essais permettent de conclure, avec plus ou moins de certitude, à la présence des huiles essentielles en certains points de l'organe considéré.

Recherche microchimique des huiles essentielles.

1° Observation directe. — Il arrive parfois que l'huile essentielle se trouve rassemblée en certains points d'un tissu végétal, sous forme de gouttelettes réfringentes. C'est ce qu'on peut observer, par exemple, dans les cellules épidermiques d'un pétale de Jacinthe, examiné en coupe transversale, ou encore dans les petites poches à essence que l'on distingue facilement à l'œil nu dans le zeste d'une orange, d'un citron ou d'une mandarine. On pourrait confondre ces gouttelettes avec des gouttes d'huile fixe; aussi, pour déterminer leur véritable nature, est-il nécessaire de constater qu'elles sont solubles dans l'alcool ou l'acide acétique cristallisable, à l'inverse des huiles grasses, qui sont généralement insolubles dans ces réactifs.

Le chloroforme, l'éther et le sulfure de carbone, par contre, dissolvent également les deux sortes d'huiles.

L'eau produit un léger trouble dans les gouttes d'huile essentielle.

On peut encore, en chauffant la préparation vers 100-110°, amener la disparition des huiles essentielles, tandis que subsistent les huiles grasses[1].

Une autre méthode consiste à laisser pendant quelque temps les coupes à étudier dans l'eau bouillante : les huiles essentielles distillent avec la vapeur, et l'on peut ensuite constater leur disparition[2].

Il est malheureusement impossible de compter, d'une façon absolue, sur ce mode de séparation des huiles grasses et des huiles essentielles ; car quelques-unes de ces dernières ne sont pas volatiles dans les conditions de ces essais, tandis qu'il existe un certain nombre d'huiles grasses qui se volatilisent déjà à ces températures.

2° Action de la potasse. — On peut, en s'appuyant sur les propriétés chimiques des matières grasses, les séparer des huiles essentielles. Il suffit pour cela de laisser séjourner les coupes des organes que l'on veut étudier dans une solution de potasse dont la concentration varie de 15 à 25 %. On saponifie ainsi les matières grasses. On lave alors à l'eau pendant un temps très long, et on élimine ainsi le savon formé, en même temps que les tanins qui pouvaient se trouver dans le tissu étudié. Par contre, les gouttes d'huiles essentielles demeurent intactes dans la préparation[3].

Avec certaines huiles essentielles cette méthode donnera des résultats négatifs. Une essence, par exemple, riche en phénols se dissoudra complètement dans la potasse.

[1] Arthur Meyer, p. 28.
[2] Strasburger.
[3] Otto Tunmann.

Molisch[1] a proposé une autre façon d'opérer : on monte la coupe dans un mélange à parties égales de potasse concentrée et d'ammoniaque. La saponification des matières grasses se produit alors sous le microscope ; mais le lavage du savon est difficile à effectuer, et les huiles essentielles peuvent être attaquées par les alcalis employés ici à une concentration très élevée.

Malheureusement, la recherche des huiles essentielles n'est pas toujours aussi simple, et il arrive souvent qu'au lieu de se trouver, dans certaines cellules, sous forme de gouttelettes bien visibles, elles sont dans un état de division plus grand, se trouvent confondues au milieu de granulations protoplasmiques, de sorte qu'il faut avoir recours à des réactifs colorants pour effectuer leur recherche.

Une remarque s'impose à ce propos : la manière dont on pratique les coupes des organes que l'on veut étudier n'est pas indifférente. En effet. si l'on coupe à l'aide d'un rasoir un organe frais, on risque d'étaler, avec la lame du rasoir. sur toute la surface de l'organe que l'on coupe, des gouttelettes d'essence qui se répandent un peu partout. Aussi M. Tschirch[2] recommande-t-il de laisser au préalable sécher les matériaux que l'on veut étudier et de les durcir dans l'alcool fort. On évite ainsi d'apporter un trouble quelconque dans la localisation des huiles essentielles.

Nous passerons maintenant en revue la série des réactifs colorants utilisés en histologie végétale, pour la recherche des huiles essentielles.

[1] Molisch.
[2] Tschirch, 1, t. ii.

3° ACIDE OSMIQUE. — Le plus anciennement employé de ces réactifs est l'acide osmique, qui est en réalité de l'oxyde d'osmium OsO^4.

Les huiles essentielles possèdent la propriété de réduire l'oxyde d'osmium à l'état d'osmium métallique. En effet, si l'on agite, dans un tube à essai, quelques gouttes d'une huile essentielle avec une solution d'oxyde d'osmium à 1 °/₀, de façon à bien mettre en contact les deux liquides, qui ne sont pas miscibles, on voit la masse prendre une coloration noire, due à un dépôt d'osmium métallique. En laissant reposer, on voit se séparer les gouttelettes d'essence fortement colorées en noir. Malheureusement, un grand nombre d'autres substances sont capables de réduire l'acide osmique : les huiles grasses dont l'acide n'est pas saturé, les tanins et le protoplasma vivant.

On peut cependant, en employant une solution d'acide osmique plus diluée[1] (au 1/200), et en ne la laissant que quelques minutes en contact avec la préparation, qu'on lave ensuite avec soin à l'eau distillée, éviter la précipitation d'osmium métallique par le protoplasma.

Dans ces conditions, la réduction ne s'observe en effet que dans les éléments qui renferment l'une des substances suivantes : huile essentielle, huile grasse ou tanin. La figure 6 représente une coupe transversale pratiquée dans un pétale de *Rosa centifolia*, qui a été traitée de cette façon. Le contenu de toutes les cellules épidermiques a réduit l'oxyde d'osmium, ce qui prouve que l'huile essentielle, dont l'odorat révèle la

[1] Dr BLONDEL.

présence dans le pétale, ne peut se trouver localisée qu'en cet endroit.

Si les cellulles dans lesquelles l'osmium a été réduit ne contenaient que des huiles essentielles, on pourrait, en traitant par la solution osmique des coupes préala-

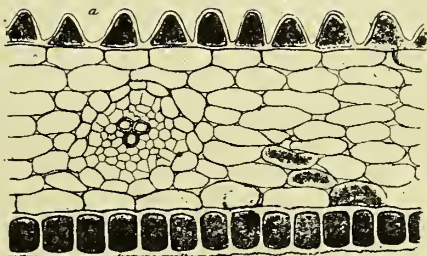


Fig. 6. — *Rosa centifolia.* Coupe transversale d'un pétale, traitée par une solution d'acide osmique à $^1/_{200}$ montrant la réduction de l'osmium en présence de l'essence dans les éléments des deux épidermes. — *a*, épiderme supérieur. — *b*, épiderme inférieur. — *f*, parenchyme du mésophylle renfermant un faisceau. — Grossissement : 500 fois. (Fig. extraite du Mémoire du Dr R. Blondel.)

blement lavées à l'alcool ou à l'acide acétique cristallisable, constater qu'après ce traitement par des solvants exclusifs des huiles essentielles, les mêmes cellules ne se colorent plus en noir.

Malheureusement, les huiles essentielles et grasses et les tanins s'accompagnent presque toujours les uns les autres dans les mêmes cellules, de sorte qu'il est impossible de pousser plus loin, avec le réactif osmique,

l'étude microchimique que nous nous proposions d'effectuer.

4° Matière colorante de la racine d'*Alcanna tinctoria* Tausch. — L'*Alcanna tinctoria* (en français Orcanette) est une plante de la famille des Borraginées, dont les racines, pulvérisées, contiennent une matière colorante rouge soluble dans l'alcool. C'est N.-J.-C. Muller[1] qui introduisit, en 1866, ce réactif dans la pratique de l'histologie végétale.

C'est sous forme de teinture que la matière colorante de la racine d'Alcanna fut employée tout d'abord; mais les solutions alcooliques de cette matière précipitent fréquemment, aussi l'utilise-t-on plus couramment sous la forme d'orcanette acétique, dont la préparation a été indiquée par M. Guignard[2]. L'orcanette acétique se conserve bien, et, si elle vient à se troubler, ce qui arrive rarement, il suffit, pour la rendre utilisable, d'y ajouter un peu d'alcool à 50 °/₀, qui redissout le précipité.

Néanmoins, le réactif préparé de cetre façon présente encore un inconvénient : d'abord, lorsqu'on le place dans les verres de montre qui servent à effectuer les colorations, il s'y évapore rapidement. On peut y remédier en préparant l'orcanette suivant une autre formule. donnée plus récemment par M. Guignard[3], et dans

[1] N.-J.-C. Müller, 1, 1866, t. V.

[2] On laisse macérer 10 gr. de poudre de racine d'Alcanna dans 30 cc. d'alcool absolu pendant 24 heures. On filtre et on laisse le filtrat s'évaporer à l'étuve, et on reprend cet extrait par 5 cc. d'acide acétique cristallisable. On ajoute alors 50 cc. d'alcool à 50 °/₀, et on filtre après 24 heures. (Guignard, 1, 1890, t. IV, p. 447.)

[3] On épuise 10 gr. d'orcanette pulvérisée par 50 cc. d'alcool à 90° ou 95°, ou encore d'éther ordinaire, par lixivation dans un

laquelle l'hydrate de chloral est employé comme solvant.

On peut d'ailleurs, dans les cas où la présence d'alcool est gênante, employer comme solvant un mélange à poids égaux d'hydrate de chloral et d'eau distillée ; mais il est dangereux d'employer une trop forte proportion d'hydrate de chloral, car ce corps dissout certains composants des matières odorantes, tels que le camphre et le menthol.

L'orcanette ainsi préparée colore en rouge foncé les huiles grasses, les huiles essentielles et les résines. Par conséquent, là encore, nous nous trouvons en présence d'un réactif qui n'est pas spécifique ; mais celui-ci présente, sur l'acide osmique, l'avantage de ne pas donner de réaction avec le protoplasma vivant, ce qui rend son emploi moins délicat et plus sûr.

5° Soudan III (amido-azo-benzène-azo-β-naphtol). — Ce réactif, connu depuis 1880, n'a été introduit dans l'histologie végétale qu'en 1898 par Buscalioni[1].

C'est une couleur artificielle qui se dissout très bien dans les huiles grasses et essentielles, dont on ne peut plus ensuite l'éloigner. Elle se fixe également sur les résines, la cutine et la subérine.

appareil approprié ; puis on évapore à l'étuve ou au bain-marie. On traite le résidu à froid par le mélange suivant :

Acide acétique cristallisable	5 c. cubes.
Solution d'hydrate de chloral à 1/2	50 c. cubes.
Alcool à 80 ou 90°	50 c. cubes.

(La solution de chloral renferme pour 100 c. cubes, 65 gr. environ d'hydrate de chloral à la température de 15°.)

On facilite la dissolution avec un agitateur, on laisse reposer quelques heures, et on filtre. (Guignard, 1, 1904, t. XVIII, n° 1.)

[1] Buscalioni, 1898, t. XII.

On emploie le soudan III en solution dans l'alcool dilué (1 gr. pour 200 cc. environ de solvant).

M. Guignard a proposé récemment une nouvelle formule pour l'emploi du soudan III, basée sur sa solubilité dans l'hydrate de chloral[1].

Comme dans le cas précédent, ce réactif ne permet pas de différencier l'une de l'autre les huiles grasses et les résines.

En résumé, les deux réactifs colorants dont nous venons de parler teignent le contenu cellulaire des seules cellules contenant dans leur protaplasma des huiles grasses et essentielles ou des résines, et les membranes cutinisées et subérifiées; mais aucun d'eux ne permet une analyse plus complète. Lorsqu'on étudie une coupe faite dans un organe végétal riche en huile essentielle, on peut donc, par l'emploi de ces teintures, déterminer un certain nombre de cellules dans lesquelles la présence est probable, mais sans pouvoir affirmer que toutes ces cellules en contiennent.

Malheureusement, d'ailleurs, on obtient encore parfois des résultats moins nets; car il arrive, surtout pour la teinture d'Alcanna, que des substances diverses mêlées au suc cellulaire gênent et rendent peu démons-

[1] On prépare le réactif de la façon suivante :

Soudan III	0 gr. 10
Solution d'hydrate de chloral à $^1/_2$.	100 c. cubes.

Chauffer jusqu'à l'ébullition dans un ballon (une partie seulement du soudan se dissout), et laisser reposer 24 heures. Filtrer. Si l'on n'a pas de raisons spéciales pour éviter la présence de l'alcool dans le réactif, on peut ajouter à la solution précédente, aussitôt après son refroidissement, un égal volume d'alcool à 80 ou 90° et filtrer après 24 heures de repos. (Guignard, 1, 1904, t. XVIII, n° 1.)

trative l'opération de teinture que l'on cherche à effectuer.

6° Réactif de Mesnard. — M. Mesnard[1] a cherché à distinguer les huiles essentielles des huiles grasses et des tanins. Pour cela, il traite les coupes minces pratiquées dans les organes qu'il étudie par le réactif de Bræmer[2], solution d'acétate et de tungstate de sodium qui précipite les tanins en jaune fauve.

« Les coupes ainsi traitées sont lavées à grande eau et exposées aux vapeurs d'acide chlorhydrique dans une petite chambre humide, composée d'un anneau de verre, collé sur une lame porte-objet et fermée par une lamelle mince servant de couvercle.

« Presque immédiatement, les essences apparaissent comme des globules sphériques d'aspect huileux et colorés en jaune d'or, quelquefois lavé d'une teinte verdâtre. Cette réaction, très nette, ne dure pas longtemps et disparaît au bout de quatre à cinq minutes. »

Nous aurons à revenir plus tard sur ce procédé, sur lequel s'appuie l'auteur pour tirer de ses travaux un grand nombre de conclusions importantes au point de vue physiologique.

7° Réactif de Unvedorben-Franchimont[3]. — Ce réactif a surtout été recommandé pour la coloration des résines. Il a cependant donné de bons résultats pour l'étude des sécrétions des Hypéricacées[4].

[1] Mesnard, 1894, 7e série, t. XVII, p. 320.

[2]

Tungstate de sodium.	1 cc.
Acétate de sodium	2 cc.
Eau q. s. p.	10 cc.

[3] Franchimont.

[4] E. Schwabach, 1889, t. XVII, p. 296.

Ce réactif est une solution concentrée d'acétate de cuivre. On y laisse séjourner pendant cinq à six jours de gros fragments de l'objet que l'on veut étudier. On lave ensuite à l'eau, et l'on pratique les coupes. Les résines ou les huiles essentielles se colorent en vert émeraude. Cette coloration ne se produit d'ailleurs pas toujours, ce qui rend l'emploi de ce réactif très aléatoire.

8° Autres réactifs. — Nous citerons encore pour mémoire le *violet de* Hanstein[1], solution alcoolique de parties égales de violet d'aniline et de rosaniline. Il doit colorer les résines et les huiles essentielles en bleu pur, les gommes en rouge, le plasma en violet et les mucilages en couleur chair; son emploi ne donne malheureusement aucune satisfaction.

Citons encore la *cyanine*, ou *bleu de quinoléine*, employée en solution dans la potasse alcoolique et conseillée par Ranvier. Ce réactif colore en bleu les huiles essentielles, les graisses et les membranes lignifiées et subérifiées.

Recherche microchimique de sulfure d'allyle.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, qu'un certain nombre de plantes appartenant à des familles diverses contiennent des essences sulfurées et en particulier du sulfure d'allyle. Ces sulfures sont solubles dans l'alcool et dans l'éther; ils forment avec le nitrate d'argent un précipité noir de sulfure d'argent.

Des coupes longitudinales au travers d'écailles bien

[1] Hanstein, 1868, p. 707.

incolores du bulbe ou de jeunes tiges de l'Oignon (*Allium Cepa* L.), traitées par le nitrate d'argent, donnent après une demi-heure à une heure un beau précipité noir dans les cellules à essence. Si les coupes ont été au préalable bouillies dans l'alcool, la réaction ne se produit plus[1].

Étude microchimique des principes fournissant les essences sulfurées des Crucifères.

Les Crucifères contiennent des glucosides qui peuvent se dédoubler sous l'influence d'une diastase appropriée. Ainsi la Moutarde noire (*Sinapis nigra* L.) contient de la sinigrine qui, sous l'action de la myrosine, se dédouble en isosulfocyanate d'allyle, glucose et sulfate acide de potassium. De semblables substances se retrouvent dans d'autres Crucifères, chez les Tropæolacées, les Capparidacées, les Limnanthacées, les Papayacées et les Résédacées.

M. Guignard[2] a réussi à déterminer, à l'aide de réactifs microchimiques, la localisation de la myrosine et celle de la sinigrine.

Lorsqu'on traite une coupe faite, par exemple, dans une racine de Raifort par le réactif de Millon, on voit le protoplasma de toutes les cellules se colorer en rouge brique. Cependant, certaines cellules se colorent d'une façon particulièrement intense.

Le contenu de ces cellules, lorsqu'on traite la coupe, à une température voisine de l'ébullition, par de l'acide

[1] Leo Errera.
[2] Guignard, 1, 1890, t. IV, p. 385.

chlorhydrique pur auquel on a ajouté une goutte d'une solution aqueuse d'orcine au $^1/_{10}$, prend, à l'exclusion du contenu de toutes les autres, une coloration violette. L'expérience montre que ces propriétés appartiennent aux seules cellules contenant de la myrosine.

La recherche de la sinigrine ne se peut faire que d'une façon indirecte. On transforme ce corps, à l'aide de la myrosine, en isosulfocyanate d'allyle, colorable par la teinture d'Alcanna.

Les coupes dans lesquelles on se propose de rechercher la localisation de la sinigrine sont d'abord mises dans l'éther absolu, qui dissout les graisses, lesquelles se coloraient par la teinture d'Alcanna. On s'assure d'ailleurs, à l'aide de ce réactif, que la coupe est parfaitement débarrassée des graisses, c'est-à-dire ne se colore plus.

Mais le séjour dans l'éther a tué la myrosine qui se trouvait dans la coupe; aussi faut-il placer celle-ci dans une solution de myrosine[1].

On lave alors à l'eau, on traite par la teinture d'Alcanna, et l'on voit, dans un certain nombre de cellules, des globules se colorer en rose.

On constate que ces globules, formés d'isosulfocyanate d'allyle, sont solubles dans l'éther.

[1] Les coupes sont placées pendant un quart d'heure dans une solution de myrosine, maintenue à 50°. Pour préparer cette solution, on délaye dans l'eau quelques milligrammes de la poudre obtenue avec l'aile de la semence de *Lunaria biennis* Mœnch., très riche en myrosine.

Résumé.

Il se dégage principalement de l'étude que nous venons de faire sur la recherche microchimique des huiles essentielles, que les réactions sur lesquelles elle repose ne présentent pas un degré suffisant de certitude chimique. Nous exceptons, bien entendu, les réactions qui permettent de déceler le sulfure d'allyle et l'isosulfocyanate d'allyle. En aucune façon nous ne possédons de réactifs microchimiques permettant de déceler, avec certitude, la présence de tel ou tel des nombreux et très divers corps constituant les huiles essentielles. Il en résulte que toute étude botanique de la sécrétion et de la localisation des matières odorantes, perpétrée à l'aide des réactifs que nous venons de passer en revue, ne satisfait pas complètement l'esprit et que bien souvent, lorsque nous voudrons tirer de travaux de microchimie toutes les conséquences qu'ils comporteraient, nous nous trouverons arrêtés par le doute dans lequel nous laisse l'imperfection relative des procédés d'étude employés.

Les appareils sécréteurs.

Généralités.

On désigne d'une façon très générale, sous le nom d'appareils sécréteurs, des organes qui renferment des substances, des huiles essentielles par exemple, qui ne se rencontrent qu'en certains points du corps des végétaux.

Ces organes ont reçu des noms qui, très souvent, impliquent l'idée d'une fonction physiologique bien définie : *canaux sécréteurs, Exkretbehälter, glandes,* etc., l'idée de cette fonction n'étant basée, en général, que sur des apparences anatomiques. Ils sont d'ailleurs très divers et contiennent des substances excessivement variées.

Dans ce qui va suivre, nous ferons abstraction de toute idée physiologique préconçue, et nous décrirons, au point de vue du développement et de la structure anatomiques, les organes qui, chez les plantes, contiennent des parfums, ou plutôt des huiles essentielles. Il y a fort longtemps que les « glandes » des *Hypericum* et des *Ruta* avaient attiré l'attention des anciens. On pensait qu'elles étaient des trous dont les feuilles de ces plantes étaient percées, et c'est pour cette raison que Dioscoride [1] avait désigné le Millepertuis commun sous le nom d'*Hypericum perforatum*.

C'est Malpighi [2] qui, le premier en 1687, reconnut la nature glandulaire des taches transparentes des feuilles de Millepertuis et aussi des zestes d'orange et de citron. Il vit également que les poils d'*Urtica* et de *Cucurbita* possédaient des organes glanduleux.

Cependant, il faut arriver jusqu'à Guettard [3] pour trouver une étude méthodique sur les organes sécréteurs des plantes. De 1745 à 1756, cet auteur publia, à l'Académie des Sciences, dix mémoires sur les glandes des plantes, qu'il s'efforça de classer d'une façon méthodique. Il établit ainsi sept genres de glandes et vingt

[1] Dioscoride.
[2] Malpighi.
[3] Guettard.

genres de poils ou de filets ; mais il rangeait parmi les glandes une foule d'organes qui sont très différents, tels que les sores des fougères (« glandes écailleuses »), les lenticelles (« glandes miliaires »), etc.

Depuis, un grand nombre d'auteurs se sont occupés d'étudier l'anatomie de l'appareil sécréteur. Citons parmi eux : de Candolle, Mirbel, Trécul, Hanstein, Weiss, Martinet, J.-C. Mueller, Haberlandt, Van Tieghem, Mlle Leblois, Tschirch et ses élèves, etc.

Les travaux de tous ces chercheurs ont fait passer la science par une série d'étapes qu'il serait intéressant de suivre pas à pas. Malheureusement le cadre de cet ouvrage nous oblige à nous contenter de faire l'exposé de l'état actuel de nos connaissances sur les appareils sécréteurs des végétaux.

Ceux-ci peuvent être classés en deux catégories essentielles, suivant que le produit de la sécrétion est interne ou externe aux cellules qui constituent l'organe sécréteur. Nous étudierons successivement chacun de ces deux groupes.

Appareils sécréteurs à sécrétion interne.

Dans cette catégorie nous rangerons tous les organes sécréteurs chez lesquels les substances sécrétées s'emmagasinent dans l'intérieur même des cellules qui les produisent. Nous y comprendrons les *cellules sécrétrices*, les *poils sécréteurs* et les *vaisseaux laticifères*.

CELLULES SÉCRÉTRICES

Un grand nombre d'organes contiennent des cellules dont le contenu donne les réactions colorées des huiles essentielles. Ce fait a été fréquemment mis en évidence par M. Blondel[1] et par M. Mesnard[2].

Dans le parenchyme du pétale de la rose à cent feuilles, dont une coupe est figurée plus haut (fig. 6), on peut ainsi apercevoir quelques cellules dont le contenu donne des résultats positifs avec les réactifs des huiles essentielles.

De semblables cellules se rencontrent non seulement dans les pétales, mais dans les organes les plus divers.

Les cellules épidermiques sont très souvent le siège de sécrétions de cette nature, notamment dans les pétales (fig. 6) et dans les écailles qui recouvrent les bourgeons d'un grand nombre d'arbres.

Parfois il arrive que ce sont seulement certaines de ces cellules épidermiques qui sont le siège de la sécrétion, et enfin les cellules sécrétrices peuvent présenter une différenciation spéciale, et former des organes sécréteurs généralement désignés sous le nom de *poils sécréteurs* ou de *poils glanduleux* (*glandes externes* de Haberlandt[3]).

L'étude du mécanisme de la sécrétion dans les cellules sécrétrices n'a pas encore été faite d'une façon complète. MM. Tschirch et Biermann[4] admettent que

[1] Blondel.
[2] Mesnard, 1894, 7e série, t. XVIII, p. 318 à 380.
[3] Haberlandt, 1.
[4] Tschrich et Biermann, 1898, t. CCXXXVI, p. 74.

l'huile essentielle provient, dans ce cas, d'une modification de la membrane même de la cellule.

POILS SÉCRÉTEURS

Les poils sécréteurs se présentent à nous avec les aspects les plus variés; mais ils dépendent toujours de l'épiderme, dont ils sont des productions. « Ils se composent généralement d'une seule cellule ou de plusieurs cellules plus ou moins allongées et placées bout à bout; quelquefois néanmoins ils sont constitués par plusieurs rangées de cellules juxtaposées.



Fig. 7. — Poil glanduleux d'*Harminum pyrenaïcum*, la partie glandulaire est formée d'une seule eellule. (Extrait du Mémoire de Martinet.)

Leur formation, bien connue, est des plus simples. En général, une des cellules épidermiques s'allonge et s'élève plus ou moins considérablement en s'amincissant par son extrémité libre. Le poil est quelquefois simplement constitué par une telle cellule; mais, le plus ordinairement, cette cellule se cloisonne au niveau de la surface libre de l'épiderme, et la cellule sus-épidermiale ainsi formée constitue le poil. Souvent elle se multiplie par la production de cloisons trans-

versales ; l'élongation du poil peut devenir alors relativement considérable, et l'on sait qu'il n'est pas rare d'en



Fig. 8. — Poil glanduleux de *Stachys italica*. La partie glandulaire est formée de deux cellules (d'après Martinet).

trouver qui comptent de quinze à vingt cellules et quelquefois plus.

« Ces petits appareils ne procèdent pas toujours d'une seule des cellules de l'épiderme ; il arrive quelquefois que trois ou quatre, ou même un plus grand nombre de ces éléments se soulèvent à la fois, s'élèvent et se multiplient de manière à former un mamelon qui sert de base au poil résultant de l'élongation de l'une de ces cellules. C'est ce qu'on peut observer dans l'*Echium vulgare* (Vipérine), le *Lycopersicum esculentum* (Tomate), etc [1]. »

Enfin, le poil peut être formé par plusieurs rangées de cellules juxtaposées.

De plus, chez les poils glanduleux, la dernière cellule, au lieu de se terminer par une pointe plus ou moins subulée, présente fréquemment un renflement le plus ordinairement sphérique et d'un volume plus ou moins considérable. Cette sphère terminale peut encore

[1] Martinet.

se multiplier par des cloisons diversement orientées,

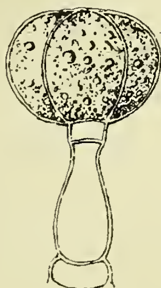


Fig. 9. — Poil glanduleux de *Lycopersicum esculentum*. La partie glandulaire est formée de quatre cellules (d'après MARTINET).

de sorte qu'il en résulte pour elle une augmentation de volume parfois considérable.

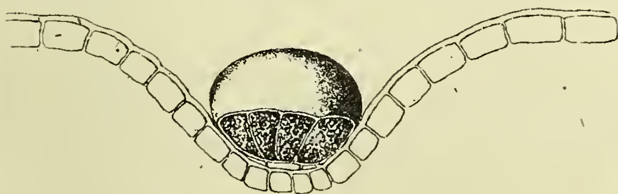


Fig. 10. — Poil glanduleux d'*Hyssopus officinalis*. La partie glanduleuse est formée par huit cellules (d'après MARTINET).

Les poils glanduleux, de formes si variées, ont été classés par M. MARTINET[1] en vingt et une espèces. Il

[1] MARTINET.

considère d'abord deux grandes classes : les poils glanduleux à leur sommet et les poils glanduleux à leur base. La première classe se divise en trois genres et sept sous-genres, qui sont basés surtout sur le nombre de cellules constituant la glande. Les figures ci-contre mettent en évidence quelques-unes de ces formes de poils glanduleux. Parfois, enfin, les poils prennent des aspects particuliers qui les ont fait désigner sous les noms de *poils écailleux* ou de *poils frangés* (fig. 13 et 14).

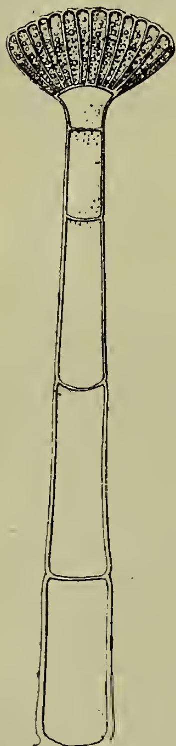


Fig. 11. — *Scutellaria albida*. Glande formée par trente-deux cellules (d'après Martinet).

Quelle que soit la forme de ces poils, la sécrétion s'y trouve toujours localisée d'une manière très uniforme entre la membrane de la cellule sécrétrice et sa cuticule (fig. 10) ; l'essence s'accumule parfois en telle quantité en ce point, que la cuticule peut être déchirée. La sécrétion s'écoule alors au dehors, et dans certains cas la cuticule peut, selon Hanstein[1], régénérer, et la même série de phénomènes recommencer.

D'après la plupart des auteurs, et notamment Hanstein[2] et

[1] Hanstein, 1868.
[2] Hanstein, 1868.

MM. Tschirch et Tunmann[1], il semble bien que l'huile essentielle se forme aux dépens de la membrane cellulaire, qui subirait une sorte de gélification vers sa partie contiguë à la cuticule. Le produit de cette gélification, mélange de mucilage et d'huile essentielle, déterminerait le gonflement de la cuticule dont nous parlions plus haut.

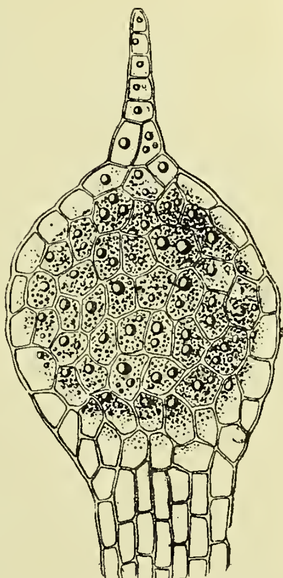


Fig. 12. — Poil glanduleux d'un pétale de *Dictamnus albus*. La masse glandulaire est opaque, et les cellules sont remplies de granulations solides et de globules plus ou moins volumineux de la substance oléorésineuse sécrétée (d'après Martinet).

Cependant d'autres auteurs, et notamment Martinet[2] chez les Labiées, et Hohlke[3] chez les Labiées et les Composées, ont vu de nombreuses gouttelettes d'huile essentielle à l'intérieur des cellules sécrétrices. Martinet pensait que l'huile essentielle passait au travers de la paroi cellulaire et venait s'extravaser entre la membrane de la cellule sécrétrice et sa cuticule.

Mesnard[4] a émis l'idée

[1] Tschirch et Tunmann, 1901, t. CCXXXIX.
[2] Martinet.
[3] Höhlke.
[4] Mesnard, 1894, 7e série, t. XVIII, p. 318 à 380.

que ces gouttelettes internes sont formées d'une huile différente de celle qui est extravasée, et l'idée qui se

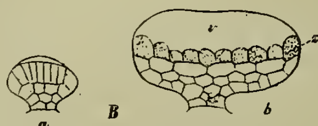


Fig. 13. — Glande écailleuse d'une feuille de *Ribes nigrum*. — *a*, état plus jeune, la cuticule est à peine soulevée par la sécrétion. — *b*, état adulte. — *z*, cellules sécrétrices. — *v*, chambre où se rassemble la sécrétion grâce au soulèvement de la cuticule. Dans ces deux états, la sécrétion a été éloignée par l'alcool. (D'après Haberlandt, *Physiologische Pflanzenanatomie*.)

dégage des travaux de M. Tschirch et de ses élèves, les derniers en date, est que la membrane cellulaire est la source de la sécrétion Pour cet auteur, la partie



Fig. 14. — Glande écailleuse de *Pyrethrum balsamista*. (Fig. extraite de Haberlandt, *Physiologische Pflanzenanatomie*).

externe, subcuticulaire de la membrane, joue ici le même rôle que la couche résinogène dans les canaux sécréteurs.

Nous verrons plus loin, en étudiant le mécanisme de la sécrétion dans les canaux sécréteurs, que les moyens microchimiques dont nous disposons à l'heure

actuelle ne nous permettent pas, d'une façon certaine, de résoudre cette difficile question.

LATICIFÈRES

Malgré l'importance considérable de ces appareils dans le règne végétal, nous n'insisterons pas longuement sur leur constitution, car leur contenu ne présente qu'un intérêt secondaire au point de vue qui nous occupe. Il est néanmoins indispensable de dire ici un mot de leur anatomie.

Les laticifères se présentent sous la forme de laticifères monocellulaires ou de laticifères pluricellulaires.

Ceux du premier type sont constitués par des cellules plurinucléées, qui se sont développées entre les tissus dans toute la longueur d'un végétal, en produisant çà et là des ramifications, et qui proviennent d'une seule cellule initiale.

Les laticifères pluricellulaires sont formées par des séries de cellules, disposées soit en files, soit en réseau. Les cloisons latérales ne persistent pas ou se percent des ponctuations qui font communiquer les cellules les unes avec les autres. Il se forme ainsi des « vaisseaux laticifères », dont le rôle physiologique est encore mal connu et qui, dans certains cas, contiennent des réserves.

Appareils sécréteurs à sécrétion externe.

Dans cette catégorie se rangent deux sortes d'appareils sécréteurs, jouant un grand rôle chez les végétaux : les *poches sécrétrices* (ou *glandes internes*) et les *canaux sécréteurs*.

Il n'y a pas lieu de séparer dans notre description ces deux catégories d'appareils. En effet, ils sont très voisins les uns des autres, et naissent de la même façon. En principe, ils sont constitués par une cavité bordée de cellules vivantes, généralement désignées sous le nom de « cellules sécrétrices ». Cette cavité peut être de forme sphérique, comme c'est le cas, par exemple, dans les feuilles du Millepertuis ; elle constitue alors une *poche sécrétrice*. Au contraire, elle peut être très allongée et former alors un *canal sécréteur*.

On trouve tous les intermédiaires entre ces deux types extrêmes, et il est difficile de tracer une limite entre eux.

Ce n'est donc pas en tenant compte de la longueur plus ou moins grande de ces organes qu'il est possible de les classer d'une façon absolue, mais mieux en considérant leur mode de développement, qui peut être *schizogène, lysigène* ou *schizolysigène*.

CANAUX ET GLANDES SCHIZOGÈNES

Développement. — Chez les Myrtacées, les Hypericinées, *Lysimachia*, *Amorpha*, *Pinus*, etc., les canaux et poches sécrétrices se forment de la façon suivante : une cellule se divise en quatre cellules filles, qui s'écartent les unes des autres en laissant entre elles un grand méat. Les cellules bordant ce méat se divisent à nouveau. Les cellules formées s'écartent encore, et le résultat de toutes ces opérations est la formation d'une grande lacune, bordée de cellules vivantes. Si un semblable phénomène se produit, non pas seulement dans

une seule cellule, mais dans une file de cellules occupant

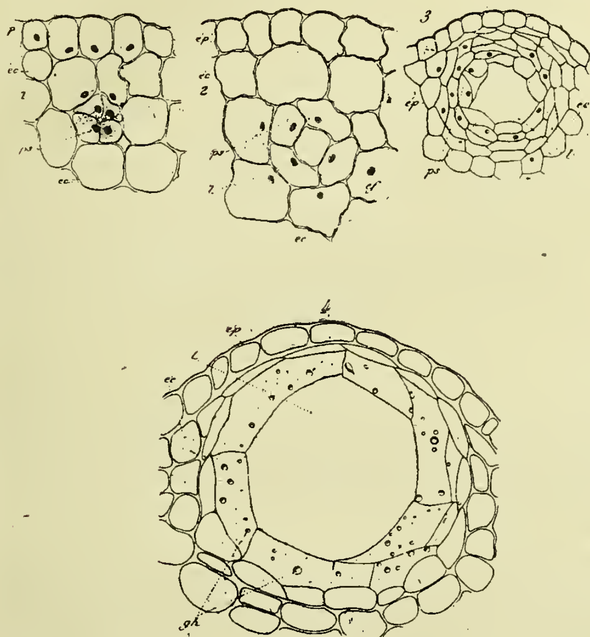


Fig. 15. — *Myoporum serratum.* Développement schizogène d'un canal sécréteur dans la tige. — *gh,* gouttelettes huileuses. (Figure extraite du Mémoire de Mlle A. Lelilois, *Annales des Sciences naturelles,* Botanique.)

toute la longueur d'un organe, il se forme non plus une poche, mais un canal sécréteur.

Mécanisme de la sécrétion. — On admettait autrefois,

surtout après les travaux de Meyen[1] et J. C. Müller[2], que l'huile essentielle s'élabore dans les cellules sécrétrices qui bordent le canal sécréteur, et passe, toute formée, dans le canal lui-même, au travers de la membrane de la cellule dans laquelle elle a pris naissance.

Depuis, Sanio[3] a remarqué que, chez des canaux très jeunes, on voit l'huile apparaître, en premier lieu dans le canal, puis dans les cellules qui le bordent. Cette observation a été confirmée par de Bary et par M. Tschirch.

M. Springer[4] avait expliqué ceci en disant que la membrane des cellules bordant le canal, lorsque celles-ci sont en voie de croissance, est perméable aux huiles essentielles, la perméabilité cessant ensuite. Cette explication ne semble pas avoir été trouvée bien satisfaisante, et l'observation de Sanio a servi à M. Tschirch[5] pour appuyer la théorie qu'il a émise sur la sécrétion.

Pour cet auteur, la partie externe des membranes des cellules bordant le canal sécréteur (ou la poche sécrétrice) devient rapidement mucilagineuse, et ce sont les premiers produits de cette transformation qui se retrouvent dans le canal sécréteur, sous la forme des premières gouttes d'huile essentielle.

Cette gélification continue, de sorte qu'un canal sécréteur adulte se trouve bordé par des cellules sécrétrices *s* (fig. 16) dont la membrane, dans sa partie limitant

[1] Meyen, p. 18.
[2] J.-C. Müller, 1866, t. V.
[3] Sanio, 1873, t. IX, p. 101.
[4] Springer.
[5] Tschirch, 1.

la cavité du canal, est gélifiée dans sa partie externe et forme une couche mucilagineuse *r*, à laquelle M. Tschirch a donné le nom de « couche résinogène » (*Resinogeneschicht*). Cette couche résinogène est séparée

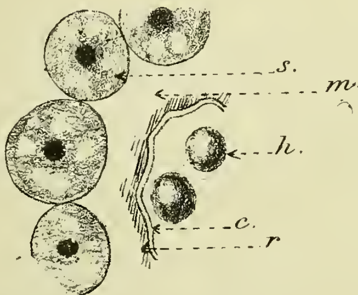


Fig. 16. — Schéma de la couche résinogène d'après M. Tschirch. — *s*, cellules sécrétrices. — *m*, partie mucilagineuse de leur membrane. — *r*, couche résinogène. — *c*, cuticule. — *h*, gouttes d'huile essentielle occupant la lumière du canal sécréteur.

de la cavité du canal par une cuticule *c* commune à toutes les cellules du canal (*innere haut* de M. Tschirch).

L'huile essentielle se forme à la partie externe et dans toute l'épaisseur de la couche résinogène ; elle passe alors dans le canal, où elle se réunit pour former des gouttes telles que *h*.

M. Tschirch admet que des matériaux résinogènes peuvent diffuser de l'intérieur de la cellule sécrétrice vers l'intérieur du canal. Ils traverseraient ainsi la couche la plus interne de la membrane de la cellule sécrétrice et arriveraient dans la couche résinogène, où ils se transformeraient en huile essentielle. Il n'y aurait

donc pas, ici, de passage d'huile essentielle formée traversant la membrane cellulaire.

Malgré la somme considérable d'efforts qui ont été fournis par M. Tschirch et ses élèves pour l'étude de cette question, on ne peut pas, à l'heure actuelle, la considérer comme résolue.

Déjà Mme Schwabach [1] a maintenu l'ancienne conception du passage de gouttelettes d'huile essentielle au travers de la membrane des cellules sécrétrices. M. Tschirch [2] admet bien la présence de gouttelettes visibles dans les cellules sécrétrices, mais déclare qu'il est impossible d'en définir la nature. En réalité, il nous semble qu'il y a lieu de n'accepter que sous toutes réserves la théorie de la « couche résinogène », et cela pour des raisons se rattachant, en premier lieu, aux propriétés des réactifs que nous employons.

M. Tschirch, de son propre aveu, se guide dans toutes ses recherches par cette idée préconçue : « Es erscheint nicht warscheinlich, dass Harz und aetherisches Oel durch mit Wasser imbibirten Membranen diffundieren kann [3]. »

Il est loin d'être exact que les essences ne se dissolvent pas dans l'eau; il est seulement vrai qu'elles ne s'y dissolvent qu'en proportion limitée.

L'eau de Rose, l'eau de fleur d'Oranger sont-elles autre chose que des dissolutions de parfums, et ne sait-on pas, en particulier, que l'un des constituants

[1] Frau Schwabach, 1899, t. XVII.
[2] Tschirch, 2, 1901, t. XIX.
[3] « Il n'est pas vraisemblable que la résine et les huiles essentielles puissent diffuser au travers de membranes imbibées d'eau. » (Tschirch, 1, 2e édit., t. II.)

les plus abondants de l'essence de rose, l'alcool phényléthylique, disparaît à peu près totalement dans les eaux de distillation où il reste dissous? Il est par conséquent tout naturel de considérer que de semblables dissolutions puissent se produire très aisément dans la cellule vivante. Les essences sont donc capables de passer, dans cet état, au travers de la membrane cellulaire, et d'arriver ainsi jusque dans la lumière du canal sécréteur.

Nous ajouterons encore, à ce propos, que, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant de cet ouvrage, la quantité d'eau contenue dans une plante est toujours suffisante pour dissoudre une fraction importante de l'essence. Nous reviendrons d'ailleurs longuement sur ce point.

On pourrait objecter à cette manière de voir que les réactifs usuels des huiles essentielles décèleraient, dans la cellule sécrétrice ou dans sa membrane, les gouttelettes de solutions de parfum. Il n'en est rien en réalité, et c'est sur ce second point qu'il convient d'insister.

Prenons deux tubes à essais : dans le premier mettons un peu d'une essence (essence de fleur d'Oranger, par exemple) avec une certaine quantité d'eau, et, dans le second, la même quantité d'essence de fleur d'Oranger avec de l'eau de fleur d'Oranger (un volume égal à celui de l'eau du premier tube). Dans les deux tubes nous ajoutons quelques gouttes d'un colorant des parfums, Soudan III, par exemple, et nous agitons fortement. Les deux tubes, après repos, se sont comportés de la même façon : tout le colorant s'est fixé sur l'essence, l'eau de fleurs d'Oranger n'en ayant pas retenu une trace. Dans ces conditions, il est permis de penser

que si, dans une préparation, se trouvaient des gouttes d'huile essentielle libre et de l'huile essentielle dissoute dans des gouttelettes aqueuses, l'huile non dissoute serait seule colorée par le Soudan III ou par l'Orcanette, ce qui ne nous permettrait pas de déceler, d'une façon sûre, la totalité de l'essence contenue dans l'organe examiné.

CANAUX ET GLANDES LYSIGÈNES ET SCHIZOLYSIGÈNES

Chez certains végétaux, les canaux sécréteurs se forment non plus par écartement des cellules provenant du cloisonnement de la cellule mère du canal, mais bien par leur dissolution. Il ne s'en produit pas moins, à l'extérieur des cellules sous-jacentes qui bordent alors le canal, une couche mucilagineuse qui, comme dans le cas des canaux schizogènes, fonctionne, d'après M. Tschirch et ses élèves, comme une couche résinogène.

Il semble, d'ailleurs, que la formation de poches ou de canaux, suivant le mode purement lysigène, soit très rare chez les végétaux, et qu'il ne soit limité qu'à certains cas pathologiques, où des portions de tissus se dissolvent pour faire place à une cavité contenant de la gomme et des oléo-résines. Ce fait se produit, par exemple, chez les Conifères.

La plupart des poches ou canaux lysigènes se forment tout d'abord selon le mode schizogène; mais les cellules qui bordent l'appareil sécréteur se dissolvent ensuite, de sorte qu'il s'agrandit par le mode lysigène ainsi que le montre la figure 17. La sécrétion se produit alors grâce au fonctionnement d'une couche rési-

nogène[1]. On trouve des organes sécréteurs se développant de cette façon chez les Rutacées, les Simarubacées, les Anacardiacées, les Diptérocarpacées et les Hamamélidacées[2].

Le mode de développement schizogène, puis lysigène

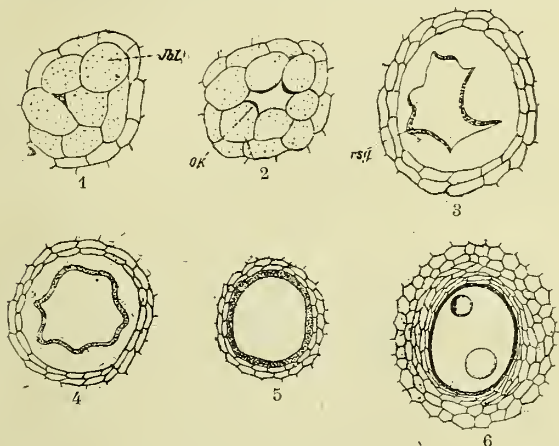


Fig. 17. — Développement schizolysigène d'une poche sécrétrice dans la paroi du fruit de *Citrus vulgaris* Risso. — 1, Formation shizogène de la cavité. — 2, Canal schizogène avec des calottes (*ok*) d'huile essentielle. — 3-5, Formation de la couche résinogène (*rsg*). Couche mucilagineuse inégalement épaissie. — 6, Canal dont la formation est terminée. (Figure extraite de Biermann, Disson inaugurale, Berne, 1896.)

de ces organes leur a fait donner le nom de poches sécrétrices schizolysigènes.

[1] Biermann, 1

[2] Willy Sieck.

GLANDES INTERCELLULAIRES

Ces glandes sont très rares. Elles ne se rencontrent que dans le genre *Psoralea* (Légumineuses), et le

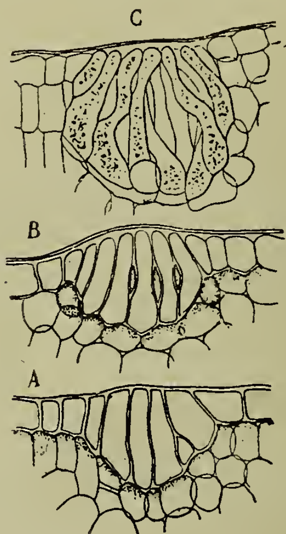


Fig. 18. — Section transversale de la feuille de *Psoralea hirta*. — A, avant l'écartement des cellules sécrétrices de l'assise périphérique. — B, le liquide commence à s'épancher dans les interstices. — C, appareil sécréteur achevé dont on a enlevé la résine par l'alcool. (D'après de Bary, *Vergleichende Anatomie.*)

genre *Rhododendron* (Éricacées). Elles peuvent être considérées comme intermédiaires entre les deux catégories d'appareils sécréteurs que nous venons successi-

vement d'examiner, à savoir : les glandes à sécrétion interne et les glandes à sécrétion externe.

Ici on remarque, au-dessous de l'épiderme de la feuille, des cellules allongées perpendiculairement à la surface. Ces cellules s'écartent les unes des autres, ne restant unies que par leurs extrémités, et entre leurs parois se réunit une sécrétion oléo-résineuse. C'est le développement d'une semblable glande que représente la figure 18.

APPAREILS ACCESSOIRES ET MODIFICATIONS DES CANAUX ET DES POCHES ADULTES OU AGÉS

Appareil de soutien. — Il arrive très fréquemment que les canaux sécréteurs présentent un appareil de soutien. Celui-ci est constitué, le plus généralement, par les cellules adjacentes aux cellules sécrétrices, qui se transforment en fibres plus ou moins épaissies et constituent ainsi une gaine protectrice. C'est ce qu'on peut observer chez un grand nombre de plantes, et notamment dans la famille des Conifères (fig. 19). Ces fibres sont généralement lignifiées.

Appareils permettant aux poches sécrétrices de se vider. — Un certain nombre de Rutacées possèdent des poches sécrétrices situées immédiatement au-dessous de l'épiderme. Ces poches sont constituées de manière que l'huile essentielle qui y est contenue puisse s'en échapper. Cet appareil a été découvert pour la première fois par M. Haberlandt[1]. Depuis, on a retrouvé de sem-

[1] Haberlandt, **2**, 1898, t. CVII, Abth. 1.

blables appareils, notamment chez les Myrtacées, dans le genre *Eucalyptus*[1].

Chez *Ruta graveolens* L., les poches sécrétrices situées dans la feuille sont séparées à l'extérieur par des cel-

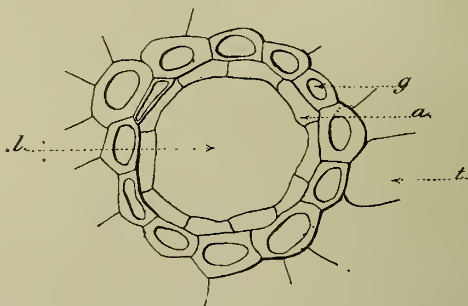


Fig. 19. — Canal sécréteur d'une feuille de *Pinus maritima*. (Le contenu des cellules a été dissous par l'hypochlorite de sodium). — *a*, cellules actives. — *g*, cellules épaissies, formant une gaine protectrice au canal sécréteur. — *t*, cellules du tissu assimilateur, que traverse le canal sécréteur. — *l*, lumière du canal sécréteur.

lules spéciales faisant partie de l'épiderme, mais plus plates que les cellules épidermiques ordinaires. Ces cellules plates, qui sont au nombre de quatre (fig. 20, A), forment un groupe bien visible de face, et laissent entre elles un méat qui fait communiquer la glande avec l'extérieur. Les cellules sécrétrices tapissant celle-ci sont également plates en temps ordinaire; mais elles ont la faculté, lorsqu'elles deviennent très turgescentes, de courber fortement, vers l'intérieur de la poche, la

[1] O. Porsch, 1903.

face de leur membrane qui limite celle-ci. Il se produit alors, à l'intérieur de cette poche, une forte pression, et cette pression peut être assez grande pour pro-

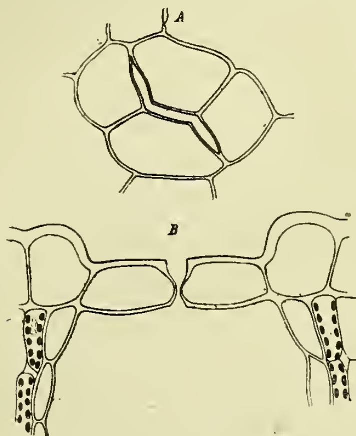


Fig. 20. — Appareil d'évacuation de la sécrétion d'une glande interne de *Ruta graveolens* L. — A, vue de la surface du couvercle avec la fente servant à la sortie. — B, coupe transversale. (Figure extraite de Haberlandt, *Physiologische Pflanzenanatomie*, Leipzig, 1904.)

voquer l'écartement des cellules plates qui séparent l'intérieur de la poche de l'air libre et, par suite, l'expulsion de l'huile essentielle.

On peut observer ce phénomène de la courbure des cellules sécrétrices en observant dans l'eau une coupe, pas trop mince, pratiquée dans une feuille de *Ruta graveolens* L.

M. Haberlandt pense que, dans la nature, l'expulsion de l'essence par ce moyen ne se produit que

lorsque la feuille est fortement courbée par un agent extérieur. Cependant, lorsque des rameaux de *Ruta graveolens* sont fortement turgescents, il suffit de les secouer pour provoquer l'expulsion.

Obturation des canaux sécréteurs âgés. — Les canaux

Fig. 21. — *Brucea ferruginea.* Formation de thylles dans un canal sécréteur de la tige. — *th*, thylle. — *v*, vaisseaux du bois secondaires. — *pl*, parenchyme ligneux secondaire. (Fig. extraite du mémoire de Mlle A. Leblois, *Ann. des Sciences naturelles,* Botanique, 1888, 7e série, t. VI.)

sécréteurs et les poches sécrétrices cessent fréquemment de fonctionner lorsqu'ils deviennent âgés.

Suivant M. Tschirch, l'oblitération de la poche sécrétrice survient souvent par suite du développement de la couche résinogène, qui finit par remplir toute la

lumière du canal. Une semblable oblitération se produit chez les Myrtacées, par exemple[1].

Parfois, l'oblitération se produit par suite de la formation de *thylles*. Ces thylles sont formés par des cellules bordant le canal. Certaines d'entre elles s'enflent considérablement; leur membrane fait fortement saillie dans le canal et acquiert de nombreuses ponctuations. Ces thylles finissent par obstruer complètement la lumière du canal sécréteur. A ce moment, leur membrane se lignifie[2].

Il peut même arriver que les canaux sécréteurs ainsi obstrués s'isolent complètement par une zone subérophellodermique se développant à leur périphérie[3].

Résumé.

Ainsi, au point de vue anatomique, les appareils sécréteurs que nous venons d'étudier se distinguent surtout par le point où se rassemble chez eux la sécrétion. Les cellules isolées, les cellules épidermiques sécrétrices et les poils constituent ainsi un premier groupe très homogène, à sécrétion interne.

Les canaux et les poches sécrétrices rassemblent, au contraire, les huiles essentielles qu'ils sécrètent dans un réservoir situé en dehors des cellules actives.

Ce sont là des distinctions purement anatomiques, car il semble bien que la sécrétion se produise par un mode absolument uniforme.

[1] Sotthilf-Lutz.

[2] Van Tieghem, 1885, 7e série, t. I, et Mlle Leblois, 1887, 7e série, t. VI.

[3] Jacques Maheu et R. Combes, 1907, 4e série, t. VII.

Pour M. Tschirch et ses élèves, ce serait une assise résinogène, portion différenciée de la membrane de la cellule active, qui assumerait le rôle sécréteur. Elle recevrait des matériaux résinogènes qu'elle transformerait en essences. Nous avons montré, au point de vue purement histologique, que cette théorie, bien qu'appuyée par de nombreux travaux, ne nous paraît pas démontrée.

Nous aurons l'occasion de voir, au cours des chapitres qui vont suivre, que les produits odorants semblent doués, dans la plante, d'une singulière mobilité et non pas condamnés, comme l'admet M. Tschirch, à rester incapables de traverser des parois cellulaires. S'agit-il d'une forme de transport, modification chimique des huiles essentielles, ou encore d'une dissolution? C'est ce qu'il semble bien difficile de démontrer d'une façon parfaite, mais la dernière hypothèse paraît tout à fait vraisemblable.

Avant de passer à l'étude de ces problèmes ardus, nous emploierons la dernière partie de ce chapitre à tracer un tableau d'ensemble de la distribution, dans les diverses familles végétales, des appareils sécréteurs.

Distribution de l'appareil sécréteur chez les divers groupes de végétaux.

Remarques préliminaires.

Nous ne pourrions songer, sans prolonger outre mesure cet exposé, à étudier, famille par famille, la forme et la disposition des appareils sécréteurs.

Aussi considérons-nous successivement les grands groupes de végétaux d'une façon très générale.

Il importe cependant de faire, avant tout, quelques remarques fondamentales.

Il arrive fréquemment que, dans une même plante, les divers membres sont pourvus d'organes sécréteurs différents. On peut citer, comme exemple de ceci, le Millepertuis (*Hypericum perforatum* L.). Les feuilles de cette Hypéricacée possèdent les poches sécrétrices bien connues, auxquelles la plante doit son nom, tandis que la tige ne possède que des canaux sécréteurs. Chez les Rutacées, la feuille contient également des poches sécrétrices, tandis que celles-ci sont remplacées, dans la tige de la plante, par des cellules sécrétrices disséminées dans le liber.

Dans une même famille, il peut arriver également que les différents genres contiennent des appareils sécréteurs divers. Cependant, en toute généralité, l'appareil sécréteur a une très grande importance systématique, non seulement par sa forme et sa disposition, mais encore par la nature des substances qu'il fournit.

Certaines familles ont tous leurs représentants pourvus des mêmes appareils de sécrétion. Il en est ainsi, par exemple, des Ombellifères et des Labiées.

Chez d'autres familles, au contraire, l'appareil sécréteur fait totalement défaut. Ainsi les familles suivantes n'ont ni appareil sécréteur interne d'aucune sorte, ni poils sécréteurs : Dilléniacées, Berbéridacées, Sarracéniacées, Frankéniacées, Tarmarcacées, Malpighiacées, Ochnacées, Ilicacées, Cyrilliacées, Stackhousiacées, Mélianthacées, Staphyléacées, Coriacées, Ostréacées, Bruniacées, Œnothéracées, Oléacées, Loganiacées, Amarantacées, Phytolaccacées, Batidacées, Thyméléacées, Casuarinacées, Salicacées, etc.

Enfin, la nature chimique des substances produites : résines, huiles essentielles, tanins, mucilages, etc., présente également une importance systématique que nous n'avons à envisager ici qu'en ce qui concerne les huiles essentielles.

Les Dicotylédones.

La plupart des familles de plantes dicotylédones possèdent des organes sécréteurs[1].

CELLULES SÉCRÉTRICES

Des cellules sécrétrices à résines ou huiles essentielles de formes diverses se trouvent dans un grand nombre de familles : Polygalacées, Élatinacées, Ternstrœmiacées, Tiliacées, Géraniacées, Rutacées, Simarubacées (dans ces deux familles, l'axe seul contient des cellules sécrétrices), Hippocastanacées, Rubiacées, Cuscutacées, Labiées, Polygonacées.

Les cellules à myrosine se trouvent chez les Crucifères, les Capparidacées, les Résédacées et les Tropæolacées. Enfin, certaines familles sont absolument caractérisées par la présence de cellules sécrétrices. Ce sont les Calycanthacées, les Magnoliacées, les Anonacées, qui contiennent, dans leur fleur, des cellules sécrétrices arrondies. Les Méliacées sont caractérisées par la

[1] Consulter, pour l'étude détaillée de cette question, Solereder, à qui nous empruntons un grand nombre des détails qui vont suivre.

présence de cellules allongées et plus ou moins ramifiées, disposées presque toujours en série.

Les Aristolochiacées contiennent, dans l'épiderme de leur feuille, des cellules sécrétrices arrondies qui sont, en général, les cellules basales des poils. La fleur de ces plantes contient plus rarement des organes sécréteurs.

Enfin les Pipéracées, les Chloranthacées, les Myristicacées, les Monimiacées, les Hernandiacées et les Gomortégacées sont caractérisées par la présence dans leurs tissus de petites cellules arrondies à oléo-résine.

POILS GLANDULEUX

Les poils, glanduleux ou non, ont une grande importance systématique; mais leur étude est si complexe, tant au point de vue de leur morphologie qu'à celui de leur contenu, qu'il est difficile, dans l'état actuel de nos connaissances, d'en tirer des enseignements philogénétiques.

Il existe des poils sécréteurs chez un grand nombre de familles végétales, sécrétant les substances les plus variées. Certaines familles, les Labiées, par exemple, sont caractérisées par la présence de poils sécréteurs à essences; les Urticacées sont généralement pourvues de poils; les poils sécrètent des huiles essentielles chez le Houblon (*Humulus Lupulus* L.), tandis qu'ils sont urticants chez les diverses espèces du genre *Urtica*. On trouve encore des poils glanduleux à huiles essentielles chez les Géraniacées, les Primulacées, les Grossulariacées, les Composées, etc.

LATICIFÈRES

Disons, pour mémoire, qu'un certain nombre de familles botaniques sont caractérisées par la présence de laticifères, dont la forme et la distribution ont une signification importante au point de vue systématique.

Certains de ces latex renferment des résines, et notamment ceux que l'on rencontre chez les Composées liguliflores, les Campanulacées, les Lobéliacées, les Papavéracées et les Papayacées. Tous ces latex sont renfermés dans des laticifères en réseau.

POCHES SÉCRÉTRICES

Les poches sécrétrices s'aperçoivent facilement dans les feuilles, lorsqu'on regarde celles-ci par transparence, sous forme de points plus brillants. Elles sont disposées également sur toute la surface du limbe ou encore, bien souvent, réunies vers les bords de la feuille.

Dans la tige et la racine, on les trouve dans la moelle ou dans l'écorce, et exceptionnellement dans le liber, où elles peuvent être remplacées, par exemple, chez les Rutacées, par des cellules sécrétrices, ou encore par des canaux sécréteurs, comme chez les Hypéricacées. Nous avons déjà eu l'occasion de parler de diverses formes des poches sécrétrices. Ces organes sont caractéristiques des familles suivantes : Hypéricacées, Rutacées, Myrtacées, Myoporacées. En outre, on les retrouve dans un grand nombre d'autres familles, et entre autres chez les Guttifères, les Ternstrœmiacées, les Malvacées, les Géraniacées, les Simarubacées, les Méliacées, les Légumineuses, les Mimosacées, les Rosacées, les Lythra-

cées, les Passifloracées, les Araliacées, les Composées, les Protéacées et les Euphorbiacées.

CANAUX SÉCRÉTEURS

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, ils ne se distinguent des poches sécrétrices que par leur plus grande longueur.

En général, on les trouve surtout répandus dans l'axe de la plante, où ils peuvent se trouver dans la moelle, le liber, le péricycle et l'écorce primaire, très rarement dans le bois.

La disposition de ces appareils est variable et souvent caractéristique de certains genres.

Lorsque les canaux sécréteurs pénètrent dans la feuille, ils occupent, dans la nervure, une position correspondante à celle qu'ils occupaient dans la tige. Enfin, ils sont beaucoup plus rares dans la racine.

Les canaux sécréteurs sont caractéristiques des familles suivantes :

Hypéricacées (seulement dans la tige et toujours dans le liber, parfois aussi dans l'écorce, la moelle ou le péricycle), Guttifères (surtout dans la moelle et l'écorce primaire de la tige), Diptérocarpacées (dans la moelle), Burséracées (dans le liber le plus souvent), Anacardiacées (dans la moelle et l'écorce primaire), Ombellifères et Araliacées (surtout dans le péricycle et aussi dans la moelle et le liber), Leitnériacées (dans la zone périmédullaire). On les rencontre encore dans un grand nombre de familles telles que les Ternstrœmiacées, Rutacées, Simarubacées, Légumineuses, Cactacées, Composées, etc.

Les Monocotylédones.

Les appareils sécréteurs sont également très fréquents chez les monocotylédones, riches en cellules à oxalate de calcium et en cellules sécrétrices à mucilages.

Les huiles essentielles y sont plus rares ; on ne les rencontre guère que chez trois familles : les Aracées, les Xyridacées et les Zingibéracées.

Chez les Aracées, on rencontre des canaux sécréteurs, dont la présence et la disposition ont une valeur systématique.

Le genre *Philodendron* est remarquable par la présence de canaux sécréteurs que l'on trouve dans le tronc, dans le pédoncule de l'inflorescence et dans les racines aériennes.

Les genres voisins : *Homalonema*, *Schismatoglottis*, *Chamæcladon*, possèdent, au lieu de canaux sécréteurs allongés, des poches sécrétrices schizogènes, de forme elliptique.

Chez certaines Zingibéracées, on rencontre assez fréquemment des canaux sécréteurs, notamment dans le rhizome bien connu du Curcuma.

Les Gymnospermes.

Les Gymnospermes, et surtout les Conifères, sont particulièrement riches en canaux sécréteurs, et l'on sait que l'anatomie, aussi bien que la disposition de ces canaux, surtout dans la feuille, présentent une grande importance systématiqne.

Chez les Cycadacées, on ne rencontre que des canaux

à mucilages, tandis que les Conifères se distinguent par leur appareil sécréteur oléo-résineux.

Dans la racine, les canaux sécréteurs peuvent se rencontrer un peu partout : bois, liber, moelle ou écorce.

Dans la tige, on peut les rencontrer dans l'écorce ou dans le liber.

Ils ne se rencontrent dans le bois que chez les Conifères, et, dans la moelle, on ne les rencontre que dans le genre *Ginkgo*.

A côté de ces canaux schizogènes on rencontre, dans l'écorce ou le liber d'un grand nombre de Conifères, des poches qui se forment suivant le mode lysigène. Enfin il n'y a pas d'appareil sécréteur oléo-résineux dans le genre *Taxus*.

La feuille est très riche en canaux sécréteurs, sauf dans le genre *Taxus*. Ceux-ci y offrent des dispositions variées et sont pourvus ou non d'une gaine fibreuse de soutien. Ces caractères et ceux qui sont fournis par la course de ces canaux dans le mésophylle ont une grande importance au point de vue systématique.

Enfin, la famille des Gnétacées ne contient pas de canaux sécréteurs.

Les Cryptogames vasculaires et les Thallophytes.

Chez les Fougères, il n'y a guère à signaler que les cellules capitées des Fougères dorées ou argentées (*Gymnogramma*), qui soient comparables à des poils sécréteurs.

Enfin, chez les Champignons, il n'est pas très rare de rencontrer des masses résineuses emmagasinées au milieu des hyphes de la plante. Dans l'état actuel de nos connaissances, il est impossible de savoir si certains de ces hyphes jouent un rôle sécréteur.

Conclusions.

En premier lieu, ainsi que nous avons eu déjà l'occasion de le remarquer, lorsqu'on considère les divers organes d'une même plante, en passant de l'un à l'autre, on voit souvent certaines formes de l'appareil sécréteur oléo-résineux faire place à d'autres.

Ainsi, chez les Hypéricacées, l'axe est pourvu de canaux sécréteurs, qui sont, dans la feuille, remplacés par des poches sécrétrices. Chez les Rutacées, les canaux sécréteurs de la tige font place, dans la feuille, à des cellules sécrétrices.

Si nous considérons maintenant l'ensemble des appareils sécréteurs, aussi bien ceux dont le produit est une huile essentielle que ceux qui fournissent des mucilages, des tanins ou de l'oxalate de calcium, nous constaterons que, entre les plantes d'un même genre, d'une même famille ou encore d'un même ordre, il existe une sorte de balancement entre ces divers appareils sécréteurs.

Entre un grand nombre d'exemples on peut citer celui de la famille des Composées, bien étudiée par M. Col[1] à ce point de vue.

On trouve, chez les représentants de cette famille,

[1] Col, t. XVII et t. XVIII, p. 110 et 153.

deux sortes d'appareils sécréteurs : des laticifères et des canaux ou poches sécrétrices. Si l'on classe les Composées d'après Bentham et Hooker, on voit que « l'extension des canaux sécréteurs aux divers organes suit un processus de bas en haut, tandis que l'apparition et l'extension des laticifères a lieu de haut en bas. Cette marche en sens inverse produit, dans certaines plantes, la coexistence des deux formes de l'appareil sécréteur ».

L'auteur ajoute : « La nature de l'appareil sécréteur ne définit donc dans les Composées que deux sous-familles, reliées par des transitions ; les *Liguliflores* et les *Tubuliflores,* comprises selon Bentham et Hooker. »

Ces remarques font ressortir d'une façon nette la valeur systématique de l'étude anatomique de l'appareil sécréteur ; mais elles ne nous permettent guère de tirer des déductions ayant une valeur physiologique.

Aussi est-ce à des recherches effectuées directement sur les parfums contenus dans une plante donnée qu'il faut avoir recours pour se faire une idée du rôle que jouent, dans l'organisme végétal, les produits odorants. Dans quelles conditions se forment-ils, et quel est leur rôle et dans la nutrition et dans la physiologie générale de la plante ? Ce sont là des questions que nous allons aborder dans les chapitres qui vont suivre.

CHAPITRE IV

FORMATION ET CIRCULATION DES PRODUITS ODORANTS

Les matières odorantes se rencontrent dans les organes les plus variés, et, dans un grand nombre de cas, elles se trouvent distribuées en tous points chez la plante. Lorsqu'il en est ainsi, le champ offert à l'étude est particulièrement vaste, et la recherche prend un caractère tout spécial de généralité. La matière odorante peut être examinée au lieu même où se trouve sa source probable, c'est-à-dire dans les organes d'assimilation, puisque c'est là que s'effectue la synthèse des matériaux organiques, capables, en se modifiant, de porter dans les diverses parties de la plante l'énergie nécessaire au travail physiologique qui s'y accomplit.

L'étude de la formation des produits odorants nécessitera l'établissement du bilan de la plante à toutes les époques importantes de son évolution normale, en ce qui concerne ces produits. On pourra voir ainsi dans quel organe et à quel moment prend naissance l'huile essentielle, en quel point elle est utilisée, si toutefois elle est susceptible d'utilisation, quelles sont les parties qui fournissent, quelles sont celles qui empruntent, quelle est la nature des échanges qui se

produisent et quel en est le mécanisme. Cette étude, due à MM. E. Charabot et G. Laloue, sera celle des *produits odorants chez la plante entière* envisagée au cours de son évolution normale et abandonnée à son processus naturel.

Mais il est des végétaux dont la fleur seule renferme de la matière odorante. Dans ce cas, les constituants aromatiques ne sont pas encore formés dans les organes d'assimilation, à moins qu'ils n'y soient emprisonnés dans des combinaisons inodores. Si le rassemblement des matériaux qui concourent à la production du parfum nécessite l'intervention d'un autre organe, il semble alors que la fleur seule produise le dernier travail de métamorphose. Et il y a lieu, au moment où l'organe est susceptible d'avoir fait son approvisionnement aux dépens des parties qui l'alimentent, de l'envisager livré à ses propres moyens, c'est-à-dire séparé d'avec les autres organes végétaux. Les recherches effectuées dans cet ordre d'idées par M. A. Hesse vont être exposées ici sous le titre : *les produits odorants chez la fleur isolée.*

Les produits odorants chez la plante entière.

L'étude de cette question a été poursuivie par MM. Eug. Charabot et G. Laloue. Elle a dû, comme nous l'indiquions plus haut, viser à la connaissance de la distribution de l'huile essentielle et de chacun de ses constituants principaux dans les divers organes de la plante au fur et à mesure que s'accomplissent les fonctions fondamentales de la vie. Pour donner un caractère de généralité à leurs résultats et à leurs déduc-

tions, les auteurs ont fait porter leurs déterminations sur un choix de plantes différentes au point de vue botanique et aussi au point de vue de la nature chimique de leurs principes odorants.

Ils ont envisagé tout d'abord le cas des *plantes annuelles* et choisi, comme exemple, une plante de la famille des Labiées, le Basilic (*Ocimum Basilicum* L.).

Ensuite, passant au cas des *plantes vivaces*, l'étude d'un certain nombre de végétaux de la famille des Rutacées : l'Oranger à fruits doux (*Citrus Aurantium* L.), l'Oranger à fruits amers (*Citrus Bigaradia* Duhamel), le Mandarinier (*Citrus nobilis* Lam.), leur a montré les relations entre la feuille et la tige d'une part, entre les différentes parties de la fleur d'autre part. Une Géraniacée, le Géranium (*Pelargonium odoratissimum* Willd.), leur a fourni un exemple de plante chez laquelle le parfum ne va généralement guère au delà de la feuille. Enfin, l'étude d'une Verbénacée, la Verveine (*Verbena triphylla* L.), et d'une Composée, l'Absinthe (*Artemisia Absynthium* L.), leur a permis d'opérer sur un nombre déterminé de pieds entiers aux principales phases de la végétation.

Avant d'examiner les résultats obtenus, il importe de dire un mot de la méthode de travail employée.

Les cultures qui ont fourni les matériaux d'étude ont toujours été établies dans des terrains uniformes, et, pour obvier au défaut d'homogénéité des poussées. les coupes de plantes ont été faites en suivant les rangées et prenant un pied sur deux, sur trois, etc., selon que l'on désirait effectuer un nombre de prélèvements égal à deux, trois, etc.

A chaque prélèvement on mettait de côté un nombre

déterminé de pieds pour l'analyse (dosage de l'eau et de la matière sèche), et l'on y déterminait l'importance absolue et relative des divers organes, ainsi que leur nombre par pied.

Aussitôt après la récolte d'un nombre de pieds donné, les racines étaient débarrassées de la terre, les différentes parties de la plante étaient séparées, pesées et distillées. On recueillait par décantation l'essence restée insoluble dans l'eau de distillation, et on la pesait. On épuisait ensuite les eaux comme il a été dit (Ch. I, p. 13), et on déterminait le poids de l'essence soluble ainsi extraite. Il est presque inutile de dire que les distillations ont toujours été effectuées dans le même alambic et en prenant toutes précautions nécessaires pour rendre les résultats comparatifs.

Les essences étaient analysées et les résultats rapportés à 100 parties de matière fraîche et à 100 parties de matière sèche. D'autre part, lorsque les études ont porté sur une partie seulement des organes d'un ou de plusieurs pieds, comme dans le cas de l'Oranger et du Mandarinier, on a calculé le poids d'essence et de ses constituants contenu dans une feuille et dans le poids de tige correspondant : ce calcul est très rationnel, et ses résultats sont très instructifs. La feuille est en effet l'organe assimilateur par excellence, et la tige l'organe de distribution. Il était donc du plus haut intérêt de connaître la quantité de matière contenue dans la portion de tige qui est en quelque sorte alimentée par une feuille. Lorsque les expériences ont pu être effectuées sur un nombre déterminé de pieds entiers, on a calculé les nombres correspondant à un pied et à chacun des organes d'un pied.

Plantes annuelles.

Correspondant à ce cas, MM. E. Charabot et G. Laloue[1] ont, avons-nous dit, choisi l'exemple du Basilic.

BASILIC

Cette Labiée renferme des composés terpéniques de la série du *linalol* et un composé non-terpénique, *l'estragol*.

Deux séries d'expériences ont été effectuées : la première, en 1903 ; la seconde, plus complète, en 1904, de façon à obtenir des résultats parfaitement contrôlés. Effectivement les nombres obtenus furent tout à fait concordants, ce qui démontre à la fois la régularité des phénomènes observés et la précision des méthodes dont il a été fait usage. Nous nous bornerons ici à résumer les résultats d'une série d'expériences. Dans ce cas, comme dans la plupart de ceux que nous étudierons ensuite, nous nous occuperons : 1° de la formation et de la distribution de l'essence ; 2° des répartitions successives de ses constituants entre les différents organes.

Formation et distribution de l'essence.

1er *Stade : 4* juillet 1904. *avant la floraison.* — Il y avait prépondérance des feuilles, et l'on a constaté que *celles-ci étaient sensiblement plus riches que les tiges en*

[1] E. Charabot et G. Laloue, **1**, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 236 et 585; **2**, 1905, t. CXXXIX, p. 928 et CXL, p. 667.

composés odorants, et que *l'essence se trouvait déjà formée chez la feuille jeune.*

De plus, le poids d'essence contenu dans les feuilles était considérablement plus élevé que le poids d'essence contenu dans les tiges.

2e *Stade :* 21 juillet 1904, *début de la floraison.* — Les tiges sont alors prédominantes.

Par distillation, les racines n'ont pas fourni la moindre quantité d'essence; les eaux de distillation elles-mêmes n'en renfermaient aucune trace. Donc, *la racine du Basilic ne contient pas d'huile essentielle.*

Le dosage de l'huile essentielle a montré que *dans les organes verts secs, la proportion centésimale d'huile essentielle subit une diminution au début de la floraison. L'inflorescence est déjà un peu plus riche en composés odorants que l'ensemble des feuilles et des tiges.*

Comparant la totalité des organes aériens au stade précédent et au stade actuel, on a observé que *la formation de l'essence s'est un peu ralentie par rapport à celle des autres substances végétales.*

Entre les deux époques considérées, le poids d'essence contenu dans un pied s'est accrû de

$$100 - 19 = 81^{mgr}.$$

En d'autres termes, *il y a eu apparition de 81mgr d'essence dans chaque pied.*

3e *Stade :* 26 août 1904, *floraison avancée* (prépondérance des inflorescences). — Depuis le stade précédent, le nombre de feuilles et le nombre d'inflorescences ont considérablement augmenté.

On a pu tirer, de l'étude de la distribution des matières odorantes, les conclusions suivantes :

La proportion centésimale d'huile essentielle diminue très sensiblement dans les parties vertes pendant que s'accomplissent les fonctions de la fleur. Cette proportion diminue aussi, mais d'une façon moins sensible, dans les inflorescences. Entre le deuxième et le troisième stade; en d'autres termes, pendant la fécondation, l'apparition de l'huile essentielle s'est sensiblement ralentie par rapport à celle des autres principes. *C'est donc au début de la végétation que les composés odorants s'accumulent avec le plus d'intensité.*

Depuis le stade précédent, dans l'ensemble des feuilles et tiges de chaque pied, il y a eu une *diminution du poids d'essence* qui s'est élevée à

$$75 - 52 = 23^{mgr},$$

malgré l'augmentation du nombre de feuilles. Dans l'ensemble des inflorescences de chaque pied il y a eu, au contraire, une augmentation de $168 - 25 = 143^{mgr}$; si bien que le bilan se traduit par un gain de

$$220 - 100 = 120^{mgr}$$

d'essence. En résumé, à une accumulation de l'essence dans l'inflorescence correspond la disparition d'une quantité importante de cette substance dans la feuille et la tige.

4e Stade : 15 septembre, *maturité de la graine.* — Les racines ne contiennent toujours pas de produits odorants. Il est donc établi que, *aux différentes époques de la vie, les racines du Basilic sont exemptes d'essence.*

Lorsque la fleur a accompli ses fonctions essentielles, lorsque la graine est arrivée à maturité, on observe que *la proportion d'huile essentielle a augmenté dans les parties vertes depuis le stade précédent* (celui qui cor-

respond à la floraison complète) *et diminué dans les inflorescences*. La plante, considérée dans son ensemble, est devenue moins riche, au point de vue relatif, en composés odorants.

Si l'on considère les organes de chaque pied, on y trouve une augmentation de 103 — 52 = 51^{mgr} du poids de l'essence contenue dans les parties vertes, pour une diminution de 168 — 69 = 99^{mgr} du poids de l'essence contenue dans les inflorescences, malgré une poussée nouvelle. En ce qui concerne le pied tout entier, la variation se traduit par la disparition de

$$220 - 172 = 48^{mgr}$$

d'huile essentielle, encore que le poids de la plante ait augmenté.

En résumé, l'essence se forme déjà chez la plante jeune et s'accumule le plus activement au début de la végétation. Avant la floraison, la masse des produits odorants contenus dans les organes d'assimilation augmente pour diminuer lorsque s'accomplit la floraison. Mais en même temps que les parties vertes subissent cette perte, on voit augmenter le poids d'essence dans les inflorescences. Si la production relative s'est ralentie, cette production n'en est pas moins positive, car le poids d'essence par pied s'est accrû. Tout se passe donc comme si les produits odorants, qu'on a vus apparaître dès le début, dans les organes verts, étaient ensuite en partie déversés dans les inflorescences.

L'acte de la fécondation accompli, nous observons la disparition d'une certaine quantité de matière odorante. Le poids d'essence a augmenté dans les organes verts et diminué dans les inflorescences, contrairement

à ce que l'on avait observé durant la précédente période. De sorte que, à un gain d'huile essentielle réalisé par l'inflorescence, correspond une perte subie par les organes verts et inversement, mais avec un déchet final qui correspond à une consommation.

Ces résultats permettent de penser que l'essence se transporte de la feuille vers la fleur, formant cortège aux hydrates de carbone qui, après s'être solubilisés, se mettent en marche pour aller alimenter ce dernier organe. Puis, la fécondation accomplie, lorsque, les réserves étant faites, cesse l'afflux des principes nutritifs dans la fleur, l'huile essentielle semble retourner dans les organes verts. A ce moment-là, d'ailleurs, la dessiccation de l'inflorescence a été particulièrement importante. Elle a donc contribué à augmenter la pression osmotique dans cet organe, et par conséquent à en chasser une partie des principes dissous. On observe en outre qu'il y a eu consommation de matières odorantes.

L'étude suivante précisera, d'ailleurs, ce mécanisme.

Répartitions successives des principes odorants entre les divers organes de la plante.

En analysant les différentes huiles essentielles extraites aux stades considérés, MM. Charabot et Laloue ont obtenu les résultats que nous allons indiquer.

1er *Stade : Avant la floraison.* — En comparant la composition des essences extraites des eaux de distillation à celles des essences correspondantes qui ne se dissolvent pas dans ces eaux et que l'on sépare par conséquent par simple décantation, les auteurs ont

constaté que les composés terpéniques de l'huile essentielle, et principalement les constituants terpéniques autres que le linalol, sont plus solubles que l'estragol. Cette observation a permis ensuite d'établir les solubilités relatives des huiles essentielles étudiées.

On a pu voir que. *chez la plante jeune*, l'essence de tiges est plus soluble que l'essence de feuilles.

2[e] *Stade : Début de la floraison.* — La floraison commence sur les tiges périphériques unies à la tige centrale par la partie inférieure de celle-ci. Il en résulte que les premières inflorescences apparaissent sur les tiges les plus vieilles. Cette remarque va avoir son importance.

Les *premières inflorescences* formées renferment une huile essentielle moins soluble que l'ensemble des organes verts de la plante.

MM. Charabot et Laloue pensent que, dans l'inflorescence, des composés terpéniques ont été consommés alors qu'une essence riche en composés terpéniques a pris naissance dans les jeunes pousses. L'hypothèse de la consommation chez la fleur sera justifiée plus loin.

Depuis le stade précédent, le poids de toutes les substances a augmenté dans les organes verts d'un pied et, à plus forte raison, dans un pied tout entier, puisque celui-ci s'est accrû des inflorescences.

3[e] *Stade : Floraison avancée.* — Le second et le troisième stade sont assez éloignés. C'est pendant l'intervalle compris entre ces deux stades que la floraison a eu lieu et que la fleur a accompli ses fonctions. *On constate que l'essence d'inflorescences est, à l'époque considérée, plus soluble que l'essence des organes verts,*

alors que l'on avait observé le contraire au stade précédent. Durant la période de la floraison, on a précisément constaté une perte de principes odorants subie par les organes verts et un gain effectué par les inflorescences, et on a été amené à conclure à la migration des composés odorants de la feuille vers l'inflorescence. L'observation que nous venons de relater corrobore cette manière de voir, en indiquant le mécanisme du phénomène. En effet, on conçoit qu'une portion relativement soluble de l'essence. en dissolution d'abord chez la feuille, gagne la tige par osmose et se déverse ensuite dans la fleur, où au travail de la fécondation et à la formation des réserves correspond un appel de matériaux organiques. Chaque fois que la combustion des substances, leur condensation ou leur insolubilisation produira dans la fleur un abaissement de pression osmotique, des principes immédiats s'y rendront venant de la feuille; les essences y seront appelées ainsi, tout comme les autres substances; mais, produits peu solubles arrivant dans un milieu qui en renferme déjà, elles se précipiteront et pourront s'accumuler de la sorte en divers points de leur itinéraire. Malgré que la solubilité de l'essence soit devenue moindre chez la feuille que chez l'inflorescence, par suite d'un appel de produits solubles dans ce dernier organe, la solubilité de l'essence d'inflorescences ne s'est pas accrue; c'est que *la solubilité de l'essence de la plante entière a décrû elle-même* à cause de la diminution de sa teneur en composés terpéniques. Il en résulte que ces composés relativement solubles sont partiellement consommés dans l'inflorescence. Mais jusqu'ici la production l'a emporté sur la consommation.

L'analyse des essences montre que ce sont bien les produits solubles (le linalol et surtout les autres composés terpéniques) qui ont disparu de la feuille. Les auteurs ont constaté que, dans l'inflorescence, les produits les plus solubles (composés terpéniques autres que le linalol) n'augmentent pas dans une plus forte proportion que les autres substances. S'il en est ainsi, c'est que précisément leur quantité diminue dans la plante entière : ils sont partiellement transformés ou consommés.

4e *Stade : Maturité des graines.* — On se souvient que, durant la dernière période de la vie de la plante, le poids d'essence a augmenté dans les parties vertes et décrû dans les inflorescences. *La substance odorante, en s'accumulant à nouveau dans les organes chlorophylliens, y est redevenue plus soluble.* Cela tend à montrer que, à la fin de la végétation, l'essence non utilisée retourne en partie dans les organes verts. Malgré ce retour à la tige et à la feuille, la solubilité de l'essence d'inflorescences ne semble pas avoir décrû ; c'est qu'un travail chimique s'est accompli, *augmentant la solubilité de l'essence de la plante entière.* Effectivement, l'analyse a montré qu'*il y avait eu une consommation d'estragol et de composés terpéniques qui l'avait emporté sur leur production*, et cela notamment en ce qui concerne l'estragol.

L'étude du Basilic a conduit à des conclusions dont il s'agit d'établir la généralité.

Plantes vivaces.

Nous allons examiner les différents exemples de plantes vivaces énumérés au début de ce chapitre.

I. — ORANGER A FRUITS DOUX

L'essence de feuille d'Oranger à fruits doux contient des composés terpéniques de la série du *géraniol* (géraniol, citral, probablement linalol, terpènes); les alcools s'y trouvent partie à l'état libre, partie à l'état d'éthers.

MM. E. Charabot et Laloue[1] ont examiné les organes végétaux à trois stades successifs de leur développement :

1er *Stade : Rameaux très jeunes.* — La distillation, en ayant soin toujours d'extraire l'essence des eaux, a conduit à des résultats dont on peut tirer les déductions suivantes :

Ici encore *les feuilles sont sensiblement plus riches que les tiges en composés odorants.* De plus, au point de vue absolu, la *feuille toute jeune renferme près de douze fois plus d'essence que le poids de tige correspondant.*

2e *Stade : Rameaux de développement moyen.* — On a fait les observations suivantes :

La proportion d'essence a baissé dans la tige sèche;

[1] E. Charabot et G. Laloue, 1, 1906, t. XXXV, p. 912; 2, 1906, t. CXLII, p. 798 et p. 860.

on en voit néanmoins apparaître un poids nouveau (0,092 — 0,025 = 0^{mgr},067 dans le poids de tige correspondant à une feuille), égal à près de trois fois le poids primitif. En même temps, *dans la feuille*, la proportion centésimale a augmenté, et la quantité absolue d'essence s'est accrue de 0,755 — 0,295 = 0^{mgr},460. *Dans l'ensemble des deux organes, il y a eu une augmentation du poids d'essence* s'élevant à

0,847 — 0,320 = 0^{mgr},537.

Par conséquent, l'intervalle considéré correspond à une période de formation active de l'essence; l'accumulation dans la tige est importante au point de vue absolu, mais elle se ralentit par rapport à celle des autres matières.

3e *Stade : Rameaux vieux.* — Dans ces rameaux, l'huile essentielle se trouvait distribuée d'après les données ci-dessous.

La proportion d'huile essentielle a décrû d'une façon sensible dans la feuille et surtout dans la tige.

Dans le poids de tige correspondant à une feuille, on observe une diminution de 0,092 — 0,048 = 0^{mgr},044, c'est-à-dire de 50 °/~0~. *Dans chaque feuille il y a, au contraire, augmentation* de 0,939 — 0,755 = 0^{mgr},184 du poids d'essence; de sorte que, en somme, il y a eu formation d'une nouvelle quantité d'huile essentielle entre les deux derniers stades. Mais l'écoulement dans la tige ne compense pas la consommation de composés odorants dans cet organe ou plutôt leur départ vers d'autres parties de la plante.

2. — ORANGER A FRUITS AMERS

Formation et distribution de l'essence dans les parties vertes.

1er *Stade : Jeunes pousses.* — MM. Charabot et Laloue[1] ont observé les faits suivants :

Comme chez l'Oranger à fruits doux, comme chez le Basilic, on constate que *les feuilles sont plus riches en essence que les tiges.*

De plus, en valeur absolue, la feuille renferme environ cinq fois plus d'essence que le poids de tige correspondant.

2e *Stade : Rameaux vieux.* — Des rameaux vieux, provenant des arbres même qui avaient fourni les précédents, ont donné lieu aux observations suivantes :

Dans la matière sèche, la proportion d'huile essentielle diminue pendant la végétation, et cette diminution est surtout sensible chez la tige.

D'une façon plus précise, au second stade considéré. *la quantité d'huile essentielle contenue dans une feuille est devenue environ le double de ce qu'elle était au premier stade. Il en est à peu près de même de la quantité d'essence contenue dans la portion de tige correspondant à une feuille.*

Cependant, chez la tige, l'augmentation est relativement plus grande que chez la feuille. Dans l'intervalle

[1] Charabot et Laloue, 1, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 884 ; 2, 1904, t. CXXXVIII, p. 1229.

des deux stades considérés, le poids d'huile essentielle qui apparaît dans chaque feuille est de

$$1,507 - 0,786 = 0^{mgr},721\,;$$

le poids d'essence formé ou accumulé dans la portion de tige correspondant à une feuille est de

$$0,336 - 0,152 = 0^{mgr},184.$$

Répartitions successives des divers composés odorants entre la feuille et la tige.

Pour étudier la distribution des composés terpéniques et le mécanisme qui préside à leur circulation, MM. Charabot et Laloue ont comparé tout d'abord la composition d'une essence extraite des eaux de distillation à la composition de l'essence correspondante demeurée insoluble. Ils ont ainsi établi la solubilité relative des constituants de l'huile essentielle. Ces constituants appartiennent à la série du *linalol* et du *géraniol*, et l'analyse des essences comporte le dosage des éthers et des alcools, l'établissement de la composition des mélanges alcooliques.

On constate que *l'essence dissoute est moins riche en éther et plus riche en alcool libre que l'essence non dissoute*. De plus, *chez la première, la portion alcoolique est plus riche en géraniol que la seconde.*

Chez les jeunes pousses, *l'essence de feuilles possède la composition d'un produit plus soluble que l'essence de tiges*. Il en est de même au second stade, où la solubilité de l'essence de tige a encore sensiblement diminué.

Nous appuyant sur les résultats obtenus précédem-

ment et sur ceux que nous venons d'énumérer, nous sommes amenés à préciser les relations qui existent entre la feuille et la tige en ce qui concerne la formation et la circulation des composés odorants. L'huile essentielle, formée dans la feuille, se sépare chez celle-ci en deux portions : l'une d'elles entre en dissolution dans le suc végétal aqueux, l'autre constitue l'excès non dissous. Or on sait que les condensations qui se produisent dans la tige ont pour effet d'y réduire la pression osmotique, si bien que, appelées par les lois de la diffusion, s'y rendent toutes les substances dissoutes de la feuille.

Et alors les matières plus solubles nouvellement arrivées chassent de la solution, qui se sature vite, une partie des substances moins solubles. Ces substances s'accumulent donc dans la tige qui, continuant son rôle d'organe de distribution, envoie, dans les parties de la plante qui consomment, un ensemble de principes demeurés en dissolution. Et ainsi, l'essence que l'on trouve dans la tige s'enrichit constamment en principes peu solubles. Chez la feuille, l'équilibre se maintient par suite de la formation continue de nouvelle matière.

Ce mécanisme se trouvera encore confirmé lorsque nous étudierons l'évolution des composés terpéniques.

Distribution de l'huile essentielle dans la fleur.

Il s'agit là d'une essence renfermant, en même temps que des composés terpéniques dont les principaux se trouvent aussi dans la feuille, un composé non-terpénique, l'*anthranilate de méthyle*.

Les boutons floraux et les fleurs épanouies dont

MM. Charabot et Laloue[1] ont fait l'examen comparatif provenaient des mêmes arbres. Au début de la floraison et dans un même lot de fleurs, les boutons ont été soigneusement séparés d'avec les fleurs épanouies. A la fin de la récolte, la même opération a été répétée pour le contrôle des résultats. Les expériences ont porté sur des poids de fleurs variant de 30 à 50 kilogrammes.

1° *Boutons floraux.* — L'extraction de l'huile essentielle, en tenant compte de la portion contenue dans les eaux de distillation, montre que, en fin de récolte, chez le bouton d'Oranger, la proportion centésimale et le poids absolu d'essence sont plus élevés qu'au début.

2° *Fleurs épanouies.* — Les pétales ont été séparés d'avec les autres parties de la fleur.

Les premiers organes renferment la majeure partie de l'huile essentielle de la fleur; ils en contiennent également la plus grande proportion centésimale.

Pendant l'épanouissement de la fleur, l'huile essentielle s'accumule dans celle-ci.

3. — MANDARINIER

Formation et distribution de l'essence dans les parties vertes.

Pour cette étude, MM. Charabot et Laloue[2] ont examiné la feuille et la tige de Mandarinier à deux

[1] E. Charabot et G. Laloue, **1**, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 937; **2**, 1904, t. CXXXVIII, p. 1513.

[2] E. Charabot et G. Laloue, **1**, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 193; **2**, 1904, t. CXXXVII, p. 996.

stades différents de leur développement, en s'adressant aux mêmes arbres.

1[er] *Stade : Jeunes pousses.* — Deux séries d'expériences ont été effectuées, l'une en 1902, l'autre en 1903, qui ont permis de vérifier que *les feuilles sont plus riches en essence que les tiges.*

En valeur absolue, la feuille renferme, au premier stade considéré, environ cinq fois plus d'essence que la tige.

2[e] *Stade : Rameaux vieux.* — Il a été distillé, d'une part un lot de feuilles sans tiges, d'autre part un lot de rameaux contenant feuilles et tiges. Dans le second cas, la partie de l'essence en dissolution n'a pas été extraite, de sorte que la comparaison a été faite entre les portions non dissoutes au cours de la distillation.

Comparant les parties correspondantes de l'essence, on a constaté que, *pendant la végétation, la proportion d'huile essentielle diminuait dans la matière sèche.*

La présence des tiges a réduit le rendement en essence; il en résulte que, comme cela a lieu chez les jeunes pousses, *les tiges sont moins riches en essence que les feuilles.* Le calcul a montré que les rendements (en ce qui concerne la partie de l'essence séparée par décantation) ne dépassaient pas 0,15 %.

La comparaison des résultats obtenus au premier et au deuxième stade a conduit à la conclusion que *le poids d'essence contenu dans une feuille augmente un peu, et que la quantité absolue d'essence produite par la plante est assez notable ;* car pour chaque feuille, dans l'intervalle des deux stades considérés, le poids d'essence contenu dans la tige s'accroît de

$$0,733 - 0,182 = 0^{mgr},551$$

(en ne tenant compte que de l'huile essentielle qui, lors de la distillation, se sépare de l'eau).

Répartitions successives des divers composés odorants entre la feuille et la tige.

L'essence de feuilles et de tiges de mandarinier est formée principalement de *méthylanthranilate de méthyle*[1]. Elle renferme en outre des composés terpéniques. Nous allons faire connaître les répartitions de ces corps entre la feuille et la tige aux deux stades considérés.

Mais, au préalable, nous indiquerons que le méthylanthranilate de méthyle s'est montré sensiblement plus soluble que les composés terpéniques de l'essence.

1er *Stade : Jeunes pousses. — Au début de la végétation, les essences de feuilles et de tiges ont des compositions peu différentes.*

2e *Stade : Rameaux vieux. — L'essence extraite des feuilles est plus riche en méthylanthranilate de méthyle, c'est-à-dire plus soluble que l'essence retirée des rameaux complets, et à plus forte raison que l'essence des tiges.* En comparant les résultats analytiques obtenus dans l'examen des essences aux deux premiers stades considérés, on a vu que *l'essence de feuilles, à l'inverse de l'essence de tiges, s'enrichissait en produit relativement soluble.* On a constaté, en effet, que la première renfermait une proportion croissante de méthylanthranilate de méthyle, tandis que, au contraire, la seconde s'enrichissait sensiblement en composés terpéniques; car la teneur de l'essence des rameaux entiers en ces com-

[1] E. Charabot, 3, 1902, 3e série, t. XXVII, p. 1117.

posés, a augmenté malgré que leur proportion ait diminué dans les feuilles.

Le poids absolu de méthylanthranilate de méthyle contenu dans chaque feuille augmente pendant le développement de celle-ci, tandis que le poids absolu de composés terpéniques diminue. Dans la portion de tige correspondant à une feuille, il y a à la fois augmentation du poids de méthylanthranilate de méthyle et augmentation du poids de terpènes.

Voyons maintenant de plus près de quelle façon s'effectue la distribution de ces substances. Chaque feuille gagne, entre les deux stades considérés et en ne tenant compte que de la portion de l'huile essentielle séparée par décantation,

$$1,032 - 0,856 = 0^{mgr},176$$

de méthylantranilate de méthyle. Par contre, elle perd

$$0,239 - 0, 148 = 0^{mgr},091$$

de produits terpéniques. *Il y a donc dans la feuille formation de méthylanthranilate de méthyle et dépense de terpènes (probablement départ à destination d'un autre organe).*

La portion de tige correspondant à une feuille a gagné 0,416 — 0140 = 0 mgr., 276 de méthylanthranilate de méthyle et 0,317 — 0,041 — 0 mgr., 276 de terpènes. Le poids de terpènes gagné par la tige étant supérieur à celui perdu par la feuille, on peut conclure qu'*il y a eu formation d'une quantité nouvelle de ces corps;* mais nous insistons bien sur le fait que la formation des composés odorants se ralentit par rapport à celle de la matière végétale totale.

L'ensemble des résultats obtenus concorde avec les

précédents pour établir les relations déjà indiquées entre la feuille et la tige : les matières odorantes formées dans la feuille jeune sont en partie dissoutes et gagnent ainsi la tige par osmose; là, une portion relativement peu soluble est précipitée, alors que le reste continue son déplacement à destination d'autres organes. C'est ainsi que la solubilité de l'essence de tiges va en diminuant, puisque dans cet organe s'accumulent les produits les moins solubles. Quant à la feuille, elle continue de produire des matières odorantes; mais cette production va en se ralentissant.

4. — GÉRANIUM

La distribution des composés odorants dans le Géranium présente un intérêt tout particulier, en ce sens que cette plante, tout au moins dans le Midi de la France, produit très peu de fleurs, tandis que les feuilles sont très abondantes et exhalent une odeur très forte.

MM. Charabot et Laloue[1] ont séparé les divers organes de la plante et soumis séparément à la distillation les feuilles, qui pesaient 79 kg., et les tiges et pétioles, dont le poids atteignait 113 kg. Avec ces 113 kg. de tiges et pétioles, ils n'ont pu obtenir aucune trace d'huile essentielle, même en épuisant au moyen de l'éther de pétrole les eaux recueillies.

Ce résultat apporte un argument de plus en faveur de la manière de voir exposée précédemment, à savoir :

[1] E. Charabot et Laloue, 1, 1903, 3e série, t. XXIX, p. 838; 2, t. CXXXVI, p. 1467.

la tige est un organe de distribution des produits odorants. En effet, les fleurs, extrêmement peu abondantes chez le Géranium, ne demandent pas un apport considérable de matériaux par l'intermédiaire de la tige. Il n'est donc pas étonnant que chez ce dernier organe se manifeste une circulation difficile et que, en particulier, les composés odorants en soient absents.

D'autre part, nous nous trouvons en présence d'un cas où l'on ne peut attribuer à la matière odorante aucun autre lieu d'origine que la feuille.

5. — VERVEINE

Jusqu'ici les recherches exposées ont porté, lorsqu'il s'est agi de plantes vivaces (le cas du Géranium excepté), sur des rameaux ne formant qu'une partie d'un ou de plusieurs pieds. Les études que MM. Charabot et Laloue[1] ont faites sur la Verveine (Verbénacées) ont eu pour but d'examiner à des stades différents de la végétation un nombre déterminé de pieds complets. Elles ont en même temps permis d'envisager le cas d'une essence à constituant principal aldéhydique.

Formation et distribution de l'essence.

Des plantations de Verveine, effectuées en mars 1905, ont donné lieu à deux coupes : l'une, le 16 septembre 1905, au moment de la floraison; l'autre, le 2 octobre 1905, après la fructification.

[1] E. Charabot et G. Laloue, 1, 1907, 4e série, t. I, p. 640; 2, 1907, t. CXLIV, p. 808, et t. CXLV, p. 201.

1er *Stade : Floraison.* — La floraison était encore irrégulière. On a distillé séparément les racines, les tiges, les feuilles et les inflorescences, et constaté que l'inflorescence est un peu moins riche que la feuille en huile essentielle, contrairement à ce qui a lieu fréquemment à ce stade de la végétation.

D'autre part, il est intéressant de faire remarquer que, dans le cas actuel, la proportion d'essence contenue dans la tige s'est montrée particulièrement faible.

Examinant comment l'essence se trouve distribuée entre les divers organes d'un pied, on a vu que, au point de vue absolu, comme en proportion centésimale, *c'est la feuille qui est l'organe le plus chargé d'essence.*

2e *Stade : Après la fructification. — La proportion d'huile essentielle a presque doublé dans la matière sèche des racines et des tiges; elle a diminué dans les feuilles et surtout dans les inflorescences. Il y a eu également diminution dans la plante entière*, ce qui correspond à une consommation, car il a été observé que la plante n'avait pas augmenté de poids depuis le stade précédent.

Entre les deux stades considérés, *le poids d'essence s'est accrû* de 16 — 10 = 6 mgr. *dans les racines et* de 16 — 8 = 8 mgr. *dans les tiges de chaque pied.* Par contre, *les feuilles et les inflorescences ont perdu un poids sensible de produits odorants :* les feuilles,

$$242 - 192 = 50 \text{ mgr. ;}$$

les inflorescences, 77 — 56 = 21 mgr. Dans chaque pied il y a eu disparition de 337 — 280 = 57 mgr. d'huile essentielle. *La plante a consommé, pendant la fécondation, une partie de ses principes odorants.*

En examinant avec attention leurs résultats numériques, les auteurs ont pu remarquer que, chez la Verveine, la tige renferme un poids d'essence particulièrement faible par rapport à celui contenu dans la plante entière. Il en est de même pour l'inflorescence. Cette remarque mérite une attention particulière. On a déduit, d'expériences que nous indiquerons d'ailleurs plus loin, en ce qui concerne l'Absinthe, d'une part le rapport (A) entre le poids d'essence contenu dans la tige et celui contenu dans un pied entier, d'autre part le rapport correspondant (B) établi entre les inflorescences et un pied entier.

Ces rapports ont pris successivement les valeurs suivantes :

	Avant la floraison.	Au début de la floraison.	En pleine floraison.	A la fin de la floraison (nouvelle poussée).
Rapport (A)	$\frac{7}{100}$,	$\frac{12}{100}$,	$\frac{14}{100}$,	$\frac{6}{100}$.
Rapport (B)	—	$\frac{31}{100}$,	$\frac{36}{100}$,	$\frac{23}{100}$.

Dans le cas actuel, celui de la Verveine, le rapport entre le poids d'essence contenu dans la tige et celui contenu dans un pied entier prend, aux deux stades considérés, les valeurs $\frac{2}{100}$ et $\frac{6}{100}$. Le même rapport, établi pour la comparaison des inflorescences à un pied entier, s'élève à $\frac{23}{100}$ au premier stade et à $\frac{20}{100}$ au deuxième stade.

Enfin, chez le Géranium étudié, où la fleur était très rare et ne pouvait par conséquent renfermer qu'une

proportion infime de l'essence totale, la tige était précisément dépourvue de matière odorante.

Tous ces résultats montrent qu'en ce qui concerne les produits odorants. la part de l'inflorescence n'est pas indépendante de celle de la tige.

Tenant compte des résultats obtenus, on peut comparer la feuille et l'inflorescence à deux réservoirs communiquant entre eux à l'aide d'une canalisation qui serait la tige. On conçoit aisément que le niveau du second réservoir soit d'autant moins élevé que la canalisation amène moins de matière, c'est-à-dire que la tige contient moins d'essence. Et lorsque la fleur ne renferme qu'une fraction faible ou nulle de l'huile essentielle de la plante, il est naturel que chez la conduite, formée par la tige, qui la relie à la feuille, se manifeste une circulation insignifiante ou nulle.

Ainsi se trouve confirmé le fait de *la migration des produits odorants de la feuille vers l'inflorescence.*

Répartitions successives des composés terpéniques entre les divers organes de la plante.

L'essence de Verveine renferme dès composés terpéniques, principalement du *géraniol,* et l'aldéhyde correspondante, le *citral.* Les différences qui se manifestent entre les deux époques considérées sont celles qui correspondent à l'accomplissement des fonctions de la fleur. Et il ne faudra pas perdre de vue qu'il s'agit là d'une période de consommation de matières odorantes. La conclusion la plus nette à laquelle conduise l'examen des résultats fournis par l'analyse des essences est relative à la *teneur élevée de l'essence d'inflores-*

cences en citral (53,4 % au premier stade, au lieu de 35,4 % dans l'essence de feuilles). On constate, en même temps, que l'essence qui reste en dissolution dans les eaux de distillation est notablement plus riche en citral et plus pauvre en terpènes que l'essence qui se décante. En d'autres termes, l'essence d'inflorescences possède la composition d'un produit plus soluble que l'essence de feuilles. Pendant l'accomplissement des fonctions de la fleur, l'essence d'inflorescences s'enrichit en éther ; au contraire, sa teneur en citral diminue sensiblement. A ces variations correspond, on s'en souvient, une consommation importante de produits terpéniques. C'est donc principalement à cette consommation qu'il y a lieu de les attribuer.

La composition de l'essence de feuilles ne subit pas, durant la même période, de variation sensible. En établissant le bilan de la plante en ce qui concerne les principes odorants, on constate que le poids de l'alcool libre et celui de l'alcool combiné n'ont subi aucune variation, tandis *qu'il y a eu une consommation importante de citral*. On constate aussi une diminution du poids du citral dans les feuilles d'un pied, mais dans des proportions moindres. En somme, c'est principalement sur ce corps que porte la consommation.

Ainsi, une portion relativement soluble quitte la feuille, où l'essence a pris naissance, pour se rendre dans l'inflorescence. Et là sont consommés, au moment de la fécondation, une partie des produits odorants ; parmi ceux-ci c'est notamment le citral qui disparaît, probablement par voie d'oxydation.

Avant de passer à l'étude qui doit suivre, nous devons remarquer que la teneur élevée de l'essence d'inflores-

cences en citral peut être due en partie à ce que la modification qui donne naissance à cette aldéhyde est particulièrement active dans les organes en question. Mais elle doit être attribuée aussi en partie à un phénomène de migration : le citral est un principe relativement soluble, et l'on sait qu'un tel caractère a pour conséquence, au moment de la floraison, le transport de l'essence de la feuille à l'inflorescence.

6. — ABSINTHE

Pour compléter leurs recherches, MM. Charabot et Laloue[1] ont examiné le cas de l'Absinthe et suivi cette plante depuis son origine jusqu'à l'achèvement des fonctions de la fleur. Les semis ayant été faits au début du printemps 1904 et les plantules repiquées à la fin mai, la floraison se produisit en juillet 1905.

Formation et distribution de l'essence.

1er *Stade :* 26 septembre 1904, *longtemps avant la floraison. — Les racines ne renferment pas encore d'essence. Quant aux feuilles, elles en contiennent une proportion notablement plus élevée que les tiges* (proportion onze fois supérieure). Ce dernier résultat est tout à fait conforme à ceux que MM. Charabot et Laloue avaient obtenus avec d'autres plantes.

Comme dans les cas examinés antérieurement, c'est

[1] E. Charabot et Laloue, **1**, 1907, 4e série, t. I, p. 280 et 483 ; **2**, 1907, t. CXLIV, p. 152 et 435.

dans les feuilles que se trouve la quantité la plus importante d'essence.

2ᵉ *Stade :* 10 juillet 1905, *début de la floraison. — La racine, qui ne renfermait pas d'essence au premier stade, devient plus riche que la tige. Dans tous les organes, la proportion d'huile essentielle a augmenté. Chez la feuille elle a doublé.* La formation de l'essence par rapport à la matière sèche assimilée entre le premier et le deuxième stade considérés est demeurée sensiblement la même qu'au début de la végétation. Si, malgré une proportion d'essence devenue plus notable partout, elle n'a pas varié dans la plante entière, c'est parce que se sont surtout développés les organes en contenant le moins.

Maintenant encore, parmi les divers organes, c'est la feuille qui renferme la plus grande quantité absolue d'essence.

Depuis le stade précédent, on constate que 61 mgr. d'essence se sont accumulés dans les racines de chaque pied; de plus, les inflorescences, qui ont pris naissance récemment, en renferment 327 mgr. Chez chaque individu, le poids de l'huile essentielle s'est accrû : dans les tiges, de 132 — 26 = 106 mgr. ; dans les feuilles, de 535 — 341 = 194 mgr. ; dans la plante entière, de 1055 — 367 = 688 mgr. *Il y a eu, par conséquent, formation d'une quantité importante d'essence jusqu'au moment de la floraison.* Mais cette formation coïncide avec un accroissement de la plante ; et il convient de ne pas oublier que la proportion des matières odorantes par rapport à la matière sèche est demeurée sensiblement la même qu'au premier stade.

3ᵉ *Stade :* 4 août 1905, *floraison avancée. — L'accu-*

mulation de l'essence dans les racines devient de plus en plus importante. On n'avait pas constaté de fait semblable dans le cas d'une plante annuelle.

La proportion d'huile essentielle diminue sensiblement dans les tiges, dans les feuilles et surtout dans les inflorescences, ainsi que dans la plante entière. *C'est donc au début du développement de la plante que se forment le plus activement les composés odorants.*

Pour chaque pied on constate, depuis le stade précédent : 1° qu'il s'est accumulé dans les racines 88 — 61 = 27 mgr. d'essence ; 2° que le poids d'essence a baissé de 132 — 105 = 27 mgr. dans les tiges, de 535 — 301 = 234 mgr. dans les feuilles, de 327 — 272 = 55 mgr. dans les inflorescences (et cela malgré un accroissement du nombre des inflorescences), enfin de 1055 — 766 = 289 mgr. dans la plante entière.

La conclusion est *qu'il y a eu consommation de matières odorantes* par suite du travail de la fécondation. Elle est identique à celle à laquelle les auteurs avaient été conduits dans le cas du Basilic.

Une remarque s'impose ici au point de vue positif, remarque relative à l'intérêt de choisir d'une façon judicieuse l'époque de la récolte des plantes à essences. Dans les expériences ci-dessus, selon que la récolte est effectuée le 10 juillet ou le 4 août, chaque pied fournit 1055 mgr. ou seulement 766 mgr. d'essence; dans ce dernier cas, on subit donc une perte d'environ 28 % du précédent rendement absolu. En d'autres termes, on arrive toujours à cette conclusion pratique *qu'il y a intérêt à extraire l'essence avant que le travail de la fécondation ne soit accompli.*

4° *Stade* : 2 septembre 1905, *floraison achevée.* —

Les fleurs et les feuilles commençaient de se dessécher; mais un grand nombre de ces dernières provenaient d'une abondante poussée nouvelle qui s'était produite vers la base. Il y avait lieu de tenir compte de cette circonstance dans l'interprétation des résultats.

La proportion d'huile essentielle dans la racine a encore augmenté d'une façon considérable. Dans la matière sèche de la tige, la proportion d'essence a augmenté un peu ; dans la feuille sèche, elle n'a pas varié sensiblement. Dans l'inflorescence on constate une diminution ; mais si l'on examine la plante entière, on observe que celle-ci, par suite de la poussée nouvelle, s'est enrichie en essence après avoir subi des pertes notables.

En somme, l'accumulation de l'essence dans les racines continue. On en trouve, dans ces organes, 105 — 88 = 17 mgr. de plus qu'au stade précédent. Par contre, le poids d'essence dans la tige a diminué de 105 — 57 = 48 mgr., tandis que chez les feuilles on constate une augmentation de 558 — 301 = 257 mgr., due à la poussée nouvelle, puisque la proportion de l'huile essentielle dans la matière sèche n'a pas varié. Dans les inflorescences, 272 — 218 = 54 mgr. d'essence ont disparu.

Si l'on trouve maintenant dans la plante entière une augmentation de 938 — 766 = 172 mgr. du poids de l'essence, c'est à l'apparition des feuilles nouvelles que cette production doit être attribuée.

Répartitions successives des composés terpéniques entre les divers organes de la plante.

L'essence d'Absinthe renferme notamment : du *thuyol,* partie à l'état libre, partie à l'état d'éther, et de la *thuyone,* cétone correspondant au thuyol.

1er *Stade :* 26 septembre 1904, *longtemps avant la floraison.* — On constatera, à tous les stades, que l'essence extraite des eaux renferme des proportions moindres de thuyol combiné et de thuyone, une proportion plus élevée de thuyol libre que l'essence séparée par décantation. Comparant l'essence de tiges à celle de feuilles, on a vu que celle-ci était un peu plus soluble que la première.

2e *Stade :* 10 juillet 1905, *début de la floraison.* — Pendant l'intervalle compris entre le premier et le second stade considérés, il s'est formé du thuyol et de la thuyone.

3e *Stade :* 4 août 1905, *floraison avancée.* — Comme on l'a constaté pour le Basilic, l'essence d'inflorescences est devenue plus soluble pendant l'accomplissement des fonctions de la fleur. Cette essence est, dans ce cas encore, plus soluble que celle des feuilles.

On a constaté que. pendant la fécondation, le poids d'essence diminuait et dans la feuille et dans l'inflorescence. Quel est, de ces deux organes, celui dans lequel s'effectue la consommation ? Les résultats analytiques ont établi que c'était l'inflorescence. Ils ont montré, en effet, que la diminution du poids des composés terpéniques était particulièrement sensible pour le thuyol, tandis que dans les inflorescences le poids

de ce même principe, qui est relativement soluble, augmentait malgré une diminution de la quantité d'essence. Il y a donc lieu de penser, comme nous l'avons fait jusqu'ici, qu'un mélange relativement soluble est déversé de la feuille dans la fleur. Dans ces conditions, il faut qu'il y ait chez la fleur une consommation active au moment de la fécondation pour que, en dépit de l'apport fait par la feuille, elle subisse encore une perte.

4e *Stade :* 2 septembre 1905, *floraison avancée.* — Il ne faut pas oublier que, entre le troisième et le quatrième stade considérés, une abondante poussée s'est produite apportant des feuilles nouvelles et venant par conséquent rajeunir la plante.

Tous les principes odorants qu'on a dosés ont continué de s'accumuler dans la racine, tandis que la tige, au contraire, a continué de se vider.

Dans la feuille, le poids de tous les composés terpéniques augmente par suite de la nouvelle poussée. L'essence continue de disparaître partiellement de l'inflorescence. Remarquons bien, en effet, qu'il s'agit toujours ici des mêmes organes, aucune inflorescence ne s'étant formée sur les jeunes pousses. La disparition d'essence constatée dans l'inflorescence est maintenant différente de celle observée durant la précédente période, car cette fois la perte relative est supportée principalement par le thuyol libre, c'est-à-dire par le constituant le plus soluble parmi ceux qui ont été dosés. L'huile essentielle paraît donc retourner en partie dans les organes verts, lorsque la fleur a achevé d'accomplir ses fonctions. La même conclusion a été formulée dans le cas du Basilic.

Conclusions.

En résumé, les observations de MM. Charabot et Laloue permettent de formuler les conclusions suivantes :

La matière odorante apparaît dans les organes verts jeunes.

Elle continue de se former et s'accumule jusqu'à la floraison, mais avec une activité qui se ralentit d'une façon plus ou moins sensible.

Elle se rend de la feuille dans la tige et, de là, dans l'inflorescence, obéissant aux lois de la diffusion : une partie entre en dissolution et, par osmose, pénètre dans la tige. En arrivant dans un milieu déjà saturé de produits analogues, une portion se précipite, tandis que le reste, qui forme un mélange relativement soluble, continue de se diffuser à travers les membranes, pour se rendre dans les organes de consommation, en particulier dans les inflorescences.

En même temps que s'accomplit le travail de la fécondation, une certaine quantité d'huile essentielle est consommée dans l'inflorescence. Il est possible et même probable que les organes verts produisent en même temps de nouvelles quantités de matières odorantes ; l'expérience permet seulement de constater que la différence entre la production et la consommation se chiffre par une perte au moment de l'accomplissement des fonctions de la fleur.

La conséquence pratique de cette dernière conclusion est que la récolte des plantes à parfums devra être

effectuée un peu avant cette consommation, c'est-à-dire avant l'acte de la fécondation.

Cet acte accompli, les principes odorants paraissent redescendre dans la tige et d'une manière générale dans les organes autres que la fleur, migration provoquée probablement par la dessiccation des inflorescences qui entraîne, toutes choses égales d'ailleurs, une augmentation de la pression osmotique et une précipitation partielle, sur place, des principes les moins solubles.

Il importe maintenant de relier les notions que les recherches chimico-physiologiques de MM. Charabot et Laloue nous ont fait acquérir, avec les résultats de l'étude anatomique que nous avons faite dans le chapitre précédent.

Nous venons de dire que, d'après MM. Charabot et Laloue, les produits odorants circuleraient dans la plante soit sous forme de solutions aqueuses, soit sous des formes de transport. Ils pénétreraient ainsi de proche en proche de la feuille, leur lieu d'élaboration, vers toutes les parties de la plante. Ils pourraient, en certains points particuliers, déjà saturés d'huile essentielle, se précipiter, et ce sont ces points que nous nommons cellules sécrétrices, canaux sécréteurs, etc. Cette grande facilité de transport, la solubilité évidente dans l'eau (solubilité plus ou moins grande) des produits odorants, nous conduisent à ne pas adopter, telles que les ont présentées leurs auteurs, les vues de M. Tschirch et de ses élèves. Il n'y aurait pas non plus à envisager de sécrétion proprement dite, mais un dépôt d'essence dans certaines cellules qui auraient la propriété de précipiter de leurs dissolutions aqueuses les

formes dissoutes, ou de détruire les formes de transport. C'est donc sous l'une de ces deux formes que les huiles essentielles traverseraient les membranes des cellules à essence ou des cellules actives des appareils sécréteurs. Dans ce cas, le rôle de la membrane mucilagineuse, à laquelle M. Tschirch donne le nom de couche résinogène, s'expliquerait mal, ou du moins devrait-on lui retirer la plus grande partie de son importance dans les phénomènes de précipitation des essences.

Enfin les organes qui contiennent les essences devraient cesser d'être désignés sous le nom d'organes de sécrétion, pour être désignés sous le nom de réservoirs. Déjà, d'ailleurs, l'école allemande a désigné ces organes sous le nom de *Sekretbehälter*, *Harzbehälter*, et il semble qu'il serait plus logique de les appeler en français : *cellules à huiles essentielles*, de même que l'on dit *cellules à tanins, réservoirs à huiles essentielles,* au lieu de *canaux* et *poches sécrétrices*.

Quoi qu'il en soit, il semble nécessaire, pour poursuivre plus avant l'étude de ces phénomènes, que le botaniste s'arme de réactifs véritablement micro-chimiques des principales substances contenues dans les huiles essentielles. C'est dans cette voie qu'il faudrait chercher, à notre avis, la vraie méthode d'analyse botanique des phénomènes de transport et de dépôt des matériaux constitutifs des essences.

Les produits odorants chez la fleur isolée.

La question de la formation et de la circulation des composés odorants vient d'être examinée dans le cas le plus général, celui où la matière odorante n'apparaît pas seulement dans la fleur, mais bien dans d'autres organes et, en particulier, dans l'appareil chlorophyllien. D'autre part, la plante a été considérée dans l'ensemble de ses organes à divers stades d'une vie et d'une évolution normales. M. Hesse a envisagé une autre question fort intéressante, celle de l'apparition du parfum chez la fleur préalablement séparée de la plante et livrée par conséquent à ses seules ressources.

Il y a quelques années, J. Passy[1] émit l'hypothèse que certaines fleurs coupées, la fleur de Jasmin, par exemple, sont susceptibles de produire du parfum si on les maintient dans des conditions qui en prolongent la vie. Partant de cette idée, M. A. Hesse a déterminé la quantité de matière odorante fournie par différentes fleurs selon le procédé d'extraction employé, tel procédé arrêtant brusquement la vie de la fleur et par conséquent fournissant uniquement l'essence accumulée lors du traitement, tel autre procédé prolongeant au contraire la vie de la fleur et permettant de capter, en plus du parfum déjà formé au moment où l'expérience commence, celui qui se formera éventuellement au cours de celle-ci. Remarquons bien qu'il s'agit ici de fleurs séparées de la plante.

[1] J. Passy, 1895, t. CXXI, p. 783.

LE PARFUM CHEZ LA FLEUR DE JASMIN

Une première étude faite sur le Jasmin a montré[1] que le produit extrait au moyen des dissolvants volatils ne renferme ni anthranilate de méthyle, ni indol. Or M. Hesse a précisément caractérisé ces corps dans l'essence provenant de l'épuisement des pommades de Jasmin. On sait, d'autre part, que la pommade de Jasmin s'obtient par enfleurage à froid, c'est-à-dire en abandonnant pendant vingt-quatre heures les fleurs au contact de la graisse froide. Dans ces conditions, on peut admettre que les fonctions vitales continuent de s'exercer, tandis que, lors de l'épuisement au moyen de l'éther de pétrole, la vie de la fleur est immédiatement arrêtée. Aussi M. Hesse a-t-il conclu de son observation que l'anthranilate de méthyle et l'indol prennent naissance pendant l'enfleurage, c'est-à-dire après la cueillette de la fleur. D'ailleurs, dans une publication ultérieure, le même savant[2] a fait connaître les résultats suivants : 1° par enfleurage, les fleurs de Jasmin fournissent environ dix fois plus d'essence que par extraction au moyen des dissolvants volatils ; 2° l'anthranilate de méthyle existe réellement dans l'essence extraite de la pommade et paraît se former après la cueillette de la fleur.

M. Erdmann[3] a bien signalé la présence de l'anthranilate de méthyle dans l'essence extraite du produit de

[1] A. Hesse, 1900, t. XXXIII, p. 1585.
[2] A. Hesse, 1901, t. XXXIV, p. 291.
[3] Erdmann, 1901, t. XXXIV, p. 2281 et 1902; t. XXXV, p. 28.

l'épuisement des fleurs au moyen de l'éther de pétrole et combattu les conclusions de M. Hesse ; mais, en réalité, il n'a pas effectué d'essais comparatifs entre les divers procédés d'extraction, et le dernier mot reste à M. Hesse [1], dont les résultats que nous allons indiquer confirment, en les précisant, les observations antérieures.

L'auteur a soumis différents lots de fleurs aux divers traitements : 1° extraction au moyen des dissolvants volatils ; 2° distillation avec la vapeur d'eau et épuisement des eaux distillées; 3° enfleurage, distillation des fleurs retirées des châssis et épuisement des eaux de distillation. Les résultats qu'il a obtenus peuvent être ainsi résumés et interprétés.

Un fait est particulièrement frappant. Après avoir fourni par enfleurage une quantité importante de matière odorante, les fleurs de Jasmin en emportent autant qu'elles en renfermaient avant l'opération. De plus, les différences des essences au point de vue de leurs teneurs en anthranilate de méthyle et en indol sont considérables. L'essence obtenue par distillation est analogue à celle provenant des extraits au moyen de l'éther de pétrole ; elle renferme cependant 1,5 % d'anthranilate de méthyle, mais pas d'indol. L'essence extraite de la pommade contient 0,24 — 0,3 %, d'anthranilate de méthyle et environ 2,5 % d'indol. Que l'opinion de Mr. Erdmann sur la présence de l'anthranilate de méthyle dans l'essence retirée des produits par la méthode des dissolvants volatils soit justifiée ou non, il résulte nettement des expériences de M. Hesse

[1] A. Hesse, 1901, t. XXXIV, p. 2916.

que *la fleur, pendant l'enfleurage, c'est-à-dire lorsqu'on prolonge sa vie après la cueillette, est susceptible de produire une nouvelle quantité d'essence.* Dans une publication ultérieure, ce dernier chimiste[1] annonce qu'il a obtenu avec les fleurs de Jasmin, par épuisement au moyen des dissolvants volatils, un rendement double de celui qu'il a indiqué précédemment. Il en résulte que le procédé par enfleurage ne donne pas dix fois plus d'essence que l'extraction, mais seulement cinq fois plus. Cela ne modifie nullement la conclusion relative à la formation d'une certaine quantité d'essence pendant l'enfleurage, conclusion qui d'ailleurs se trouve confirmée par des essais effectués sur la Tubéreuse. M. A. Hesse pense que l'anthranilate de méthyle et l'indol, en particulier, n'existent pas à l'état libre dans les fleurs de Jasmin. Ces corps s'y trouvent à l'état de combinaisons complexes se dédoublant aisément soit au cours de la distillation, soit pendant l'enfleurage.

LE PARFUM CHEZ LA FLEUR DE TUBÉREUSE

La Tubéreuse appartient, comme le Jasmin, à la catégorie de plantes dont la fleur est le seul organe odorant.

M. A. Hesse[2] a fait avec la fleur de Tubéreuse des expériences analogues à celles qu'il a effectuées avec la fleur de Jasmin.

Ses résultats lui ont montré *qu'il se formait pendant l'enfleurage environ douze fois autant d'essence qu'il en*

[1] A. Hesse, 1904, t. XXXVII, p. 1457.
[2] A. Hesse, 1903, t. XXXVI, p. 1459.

existait primitivement dans la fleur. De plus, les fleurs retirées des châssis avaient conservé encore une certaine quantité d'huile essentielle : 1 000 kgr. de fleurs fournissent par distillation, après enfleurage, 78 gr. d'essence, poids peu différent de celui qu'elles contenaient préalablement. L'analyse a montré que l'essence retirée par enfleurage se différencie de celle que l'on sépare du produit d'extraction par les dissolvants volatils, par sa plus forte teneur en anthranilate de méthyle et par la présence de salicylate de méthyle.

Il est donc hors de doute que des produits odorants prennent naissance pendant que se prolonge la vie de la plante. Mais il y a lieu de bien remarquer dès à présent que cette formation a été observée au cours d'expériences durant lesquelles la fleur a constamment cédé de l'huile essentielle à la graisse, et qu'elle a conservé à la fin à peu près autant de matière odorante qu'elle en renfermait au début. Cette remarque nous suggérera plus loin des réflexions relatives au mécanisme de la formation des matières odorantes chez les plantes.

LE PARFUM CHEZ LA FLEUR D'ORANGER

En appliquant à la fleur d'Oranger les diverses méthodes d'extraction : distillation, épuisement au moyen des dissolvants volatils, macération, enfleurage, MM. A. Hesse et O. Zeitschel[1] ont constaté que c'est la distillation qui fournit les meilleurs résultats quantitatifs. Par ce procédé, le rendement pour 1 000 kg.

[1] A. Hesse et O. Zeitschel, 1901, 2e série, t. LXIV, p. 245.

de fleurs a été de 800 gr. d'essence séparée par décantation et d'environ 400 gr. de produit retenu par les eaux de distillation. Au moyen des dissolvants volatils, les auteurs ont obtenu une matière qui a fourni, pour 1000 kgr. de fleurs, environ 600 gr. d'essence. Toujours en rapportant les résultats à 1000 kg. de fleurs, ils ont obtenu, à l'aide de la pommade préparée par macération, 400 gr. d'essence, et, à l'aide de la pommade préparée à l'enfleurage, moins de 100 gr. de matière odorante. Il est vrai que les fleurs soumises à la macération et celles traitées par enfleurage emportaient encore de l'essence qui ne se trouve pas comptée dans les rendements indiqués. Toutefois les résultats fournis par cette étude démontrent bien que, à l'inverse de ce qui a lieu pour le Jasmin et la Tubéreuse, *la fleur d'Oranger ne continue pas de produire du parfum lorsqu'on prolonge sa vie.*

Conclusions.

Il existe donc, ainsi que le pensait J. Passy et que l'a démontré M. A. Hesse, deux catégories de fleurs : les unes, continuant de fournir de la matière odorante lorsqu'elles sont placées dans des conditions telles que leurs fonctions vitales puissent s'exercer encore ; les autres, renfermant à l'état de liberté la totalité de leurs principes odorants et incapables dès lors d'en produire à nouveau, même si l'on n'arrête pas leur vie. Au point de vue pratique, il y a lieu de conclure que l'enfleurage est le procédé d'extraction le plus rationnel pour les premières et le moins avantageux, au contraire, pour les secondes. M. A. Hesse émet l'hypothèse fort

plausible de la formation, dans le premier cas, des matières odorantes par dédoublement de certaines combinaisons, peut-être des glucosides. Nous généralisons plus loin cette hypothèse en nous appuyant sur l'ensemble des faits connus. Pour arriver précisément à cette généralisation. nous pourrons invoquer de nombreux exemples de formation de matières odorantes par dédoublement de glucosides.

La formation du parfum chez la plante.

Formation de produits odorants par dédoublement de glucosides.

On a désigné tout d'abord sous le nom de *glucosides* des principes immédiats extraits des plantes et susceptibles de se dédoubler sous l'influence d'agents spéciaux appelés *ferments solubles, diastases* ou *enzymes*, ou bien encore sous l'influence des acides étendus ou des alcalis, en glucose et en composés très variés (alcools, phénols, aldéhydes, etc.). Plus tard on a étendu cette désignation à des principes immédiats fournissant, par dédoublement, d'autres sucres que le glucose.

Tous les glucosides naturels sont envisagés depuis longtemps comme les éthers-oxydes des aldoses ou des cétoses. Nous décrirons ceux qui donnent naissance, par dédoublement, à des matières odorantes.

Le dédoublement des glucosides par les ferments solubles ne fournit pas toujours les mêmes produits que leur dédoublement par les acides.

Dans les parties des plantes où l'on constate la présence des glucosides, on trouve fréquemment des

enzymes sous l'influence desquels ces éthers se dédoublent en mettant en liberté le sucre. Les enzymes des glucosides sont généralement enfermés dans des cellules spéciales qui les séparent des substances sur lesquelles ils peuvent agir. Ils offrent cette particularité qu'ils sont capables de dédoubler non pas un seul corps, non pas indifféremment tous les glucosides, mais un certain nombre d'entre eux.

Multiples sont les exemples de plantes susceptibles de fournir des produits odorants par dédoublement de glucosides bien définis. Parmi les composés odorants dont une semblable production se trouve jusqu'ici démontrée, on rencontre, il est juste de le reconnaître, une majorité de substances non terpéniques. Mais, ainsi que nous aurons l'occasion de le voir, les composés terpéniques s'y trouvent aussi représentés. Au surplus, on y voit figurer les fonctions chimiques les plus variées. Passons en revue les principaux d'entre eux.

I. — COMPOSÉS NON-TERPÉNIQUES

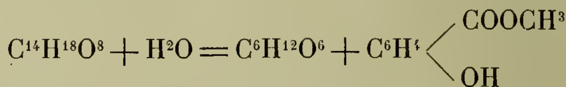
Nous mentionnerons, parmi les composés non-terpéniques dont la formation dans certains végétaux est due au dédoublement de glucosides : un éther, le *salicylate de méthyle ;* un phénol, l'*eugénol ;* des aldéhydes, l'*aldéhyde benzoïque,* l'*aldéhyde salicylique* et la *vanilline ;* une lactone, la *coumarine ;* des nitriles, l'*acide cyanhydrique* (nitrile formique) et le *nitrile phénylacétique ;* des isosulfocyanates, tels que l'*essence de moutarde* (isosulfocyanate d'allyle).

Formation de salicylate de méthyle.

La gaulthérine et la bétulase (gaulthérase). — Procter[1] avait annoncé que l'essence de Bouleau (*Betula lenta* L.) contenait un glucoside, et MM. A. Schneegans et J.-E. Gerock[2] ont réussi à isoler ce principe tant du *Gaultheria procumbens* L. que du *Betula lenta* L.

L'enzyme susceptible de dédoubler la *gaulthérine* est connu sous le nom de *bétulase* ou *gaulthérase*[3]. Il est soluble dans l'eau et résiste à peu près à l'action de la chaleur et du chlorure mercurique.

La gaulthérine répond à la formule $C^{14}H^{18}O^{8}$. Elle cristallise en aiguilles se décomposant à 140° sans fondre. Elle réduit à chaud la liqueur cupro-potassique de Fehling. Par hydrolyse, elle fournit du glucose et du salicylate de méthyle :



$$C^{14}H^{18}O^{8} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{4} \begin{cases} COOCH^{3} \\ OH \end{cases}$$

Cette hydrolyse s'effectue sous l'action des acides minéraux dilués, de la baryte, de l'eau à 130-140° en vase clos. La diastase, la salive et l'émulsine ne la produisent pas.

Dans la nature, avons-nous dit, le salicylate de méthyle se forme par hydrolyse de la gaulthérine sous

[1] Procter, 1843, t. XV, p. 241 et 1872; t. XLIV, p. 249.
[2] A. Schneegans et J.-E. Gerock, 1,1894, t. CCXXXII, p. 437.
[3] Schneegans, 1893, t. XXIII, p. 17 ; et Bourquelot, 1894, t. CXIX, p. 802.

l'influence de la bétulase. M. Bourquelot[1] a encore établi ce fait pour un certain nombre d'espèces de *Polygala*. En outre, M. H. Kræmer avait constaté que, lorsqu'on les froisse, les jeunes pousses de Pensée (*Viola tricolor* L.) développent une odeur de salicylate de méthyle. M. A. Desmoulière[2] a démontré que, là encore, le salicylate de méthyle n'existe pas à l'état de liberté. Il provient du dédoublement d'un glucoside qui est identique à la gaulthérine.

Il est probable que la formation de salicylate de méthyle chez la Tubéreuse au cours de l'enfleurage est due à un mécanisme du même genre.

Diffusion du salicylate de méthyle dans le règne végétal. — M. van Romburgh a constaté que le salicylate de méthyle est plus répandu encore qu'on ne le croit dans le règne végétal. Sur 900 plantes examinées par lui, 160 en contenaient. Mais, tandis que les produits de la distillation des feuilles fraîches de certaines de ces plantes ne donnaient pas la réaction de l'éther en question, cette réaction se manifestait quand on distillait ces mêmes feuilles le lendemain de leur cueillette. Il en résulte que le salicylate de méthyle n'y est pas contenu à l'état libre, mais sans doute sous forme de glucoside, comme dans les cas examinés plus haut. Ce fait paraît assez général pour que l'étude de la diffusion du salicylate de méthyle dans le règne végétal corresponde à peu près à celle de la diffusion du glucoside qui l'engendre et trouve dès lors sa place ici.

En 1898, M. Kremers et Mlle Martha M. James[3]

[1] Bourquelot.

[2] A. Desmoulière, 1904, 6e série, t. XIX, p. 121.

[3] Kremers et Martha M. James, 1898, t. XVI, p. 100.

ont consigné dans un tableau toutes les plantes dans lesquelles on avait pu, jusqu'alors, déceler le salicylate de méthyle. Depuis, cette liste a été considérablement augmentée. Voici la nomenclature des familles dans lesquelles on rencontre des végétaux plus ou moins riches en salicylate de méthyle :

Acanthacées, Artocarpacées, Apocynacées, Asclépiadacées, Bétulacées, Bixacées, Bignoniacées, Burséracées, Caprifoliacées, Célastracées, Chrysobalanacées, Composées, Dilléniacées, Ébénacées, Éricacées, Érythroxylacées, Euphorbiacées, Graminées, Lauracées, Légumineuses, Liliacées, Méliosmacées, Ménispermacées, Myristicacées, Myrsinacées, Myrtacées, Oléacées, Polygalacées, Pyrolacées, Rhamnacées, Rosacées, Rubiacées, Rutacées, Samydacées, Sapindacées, Sapotacées, Staphyléacées, Styracées, Tiliacées, Ternstrœmiacées, Violacées.

Formation d'eugénol.

La géine et la géase. — Si l'on arrache un pied de Benoîte (*Geum urbanum* L.) avec précaution, de façon que la racine reste intacte, on peut constater que celle-ci ne présente pas d'odeur. Mais si ensuite on la froisse entre les doigts et si l'on attend quelques instants, l'odeur caractéristique se manifeste. C'est là une particularité qui rappelle ce que l'on sait au sujet d'essences ne préexistant pas dans la plante, mais prenant naissance par suite de l'action d'une diastase sur un glucoside (E. Bourquelot et H. Hérissey[1]).

[1] Bourquelot et Hérissey, 1905, t. CXL, p. 870.

MM. Bourquelot et Hérissey ont donné à ce glucoside le nom de *géine*. Ils ont isolé aussi l'enzyme capable de dédoubler la géine et l'ont appelé *géase*.

Le composé odorant de la racine de Benoîte provient du dédoublement de la géine. En effet, lorsqu'on ajoute à la solution d'extrait, qui est dextrogyre et légèrement réductrice, de la poudre fermentaire, on constate, corrélativement à la formation d'essence, une augmentation du pouvoir réducteur et de la déviation (formation d'un sucre droit, vraisemblablement du glucose).

MM. Bourquelot et Hérissey ont démontré, de plus, que le composé odorant est l'eugénol.

L'enzyme est un enzyme particulier. En effet, aucun des ferments essayés par les auteurs (émulsine, invertine, ferments du *Sterigmatocystis nigra* v. Tgh.) n'est susceptible de dédoubler le glucoside. Il n'a été rencontré que dans la Benoîte, bien qu'il ait été recherché dans plusieurs plantes fournissant de l'eugénol.

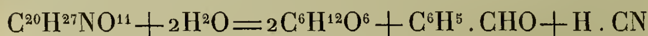
Formation simultanée d'un principe aldéhydique (aldéhyde benzoïque notamment) ou cétonique et d'acide cyanhydrique.

L'amygdaline et l'émulsine ou synaptase. — En 1830, Robiquet et Boutron-Charlard[1] constatèrent que l'essence ne préexistait pas dans l'amande amère, que la présence d'eau était indispensable à son développement (fait que Planche, Henry et Guibourt avaient déjà observé), et qu'elle ne se produisait qu'en présence d'une autre substance contenue dans les amandes. Ils

[1] Robiquet et Boutron-Charlard, 1830, t. XLIV, p. 352.

isolèrent le principe susceptible de fournir l'essence et lui donnèrent le nom d'*amygdaline*. La composition de ce corps, ainsi que ses propriétés, furent étudiées par LIEBIG et WOEHLER[1].

La réaction caractéristique de l'amygdaline est son dédoublement avec formation de glucose (deux molécules), d'aldéhyde benzoïque et d'acide cyanhydrique :



$$C^{20}H^{27}NO^{11} + 2H^2O = 2C^6H^{12}O^6 + C^6H^5.CHO + H.CN$$

Ce dédoublement s'effectue sous l'influence du ferment, l'*émulsine*[2], qui se trouve dans l'amande. Il a lieu aussi sous l'influence des acides chlorhydrique ou sulfurique étendus et bouillants.

Dans la plante, l'amygdaline n'est souvent pas dédoublée; c'est qu'elle se trouve alors séparée de l'émulsine.

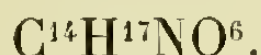
L'amygdaline a été encore obtenue cristallisée en partant d'un certain nombre de semences de Rosacées, telles que les graines de Cerisier, de Prunier, de Pommier, de Pêcher, etc., et tout récemment par M. HÉRISSEY[3] en partant de celles du Néflier du Japon (*Eriobotrya japonica* Lindl.).

Prulaurasine. — LEHMANN[4] avait proposé, pour désigner le glucoside des feuilles de Laurier-cerise, obtenu à l'état amorphe, le nom de « laurocérasine ». Les recherches plus récentes de M. JOUCK[5] n'avaient abouti qu'à l'obtention d'une matière amorphe, dont

[1] LIEBIG et WOEHLER, t. LXIV, p. 185.
[2] ROBIQUET, t. XXIV, p. 326.
[3] HÉRISSEY, 1, 1906, 6e série, t. XXIV, p. 350.
[4] LEHMANN, 1885, t. XXIV.
[5] JOUCK, 1905, t. CCXLIII, p. 421.

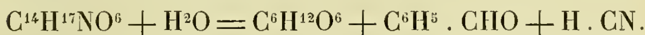
la formule ne put être exactement établie. Mais, plus heureux, M. Hérissey[1] est arrivé à isoler des feuilles de Laurier-cerise et de celles du *Cotoneaster microphylla* Wall. un glucoside cristallisé, auquel il a donné le nom de *prulaurasine*.

La prulaurasine cristallise en aiguilles incolores fusibles à 120-122°, et répondant à la formule



$$C^{14}H^{17}NO^{6}.$$

Elle est lévogyre. L'émulsine la dédouble en glucose (une molécule), aldéhyde benzoïque et acide cyanhydrique, selon l'équation :



$$C^{14}H^{17}NO^{6} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{5} . CHO + H . CN.$$

C'est un isomère de la sambunigrine que nous allons étudier; mais elle en diffère par ses solubilités, son point de fusion et son pouvoir rotatoire.

Sambunigrine. — M. Guignard[2] a pu retirer de l'acide cyanhydrique du sureau noir (*Sambucus nigra* L.) et constater que ce corps existe non à l'état de liberté, mais sous forme de glucoside. La combinaison cyanhydrique du sureau est différente de l'amygdaline. Elle est dédoublée par un enzyme se comportant comme une émulsine, accompagnant le composé dédoublable dans la feuille et dans l'écorce verte et existant seul dans les racines.

La présence d'un glucoside cyanhydrique dans le sureau noir a été confirmée par MM. E. Bourquelot et E. Danjou[3], qui ont constaté en même temps que

[1] Hérissey, **2**, 1905, t. CXLI, p. 959; **1**, 1906, 6e série, t. XXIII, p. 5, et t. XXIV, p. 537.

[2] Guignard, **2**, 1905, t. CXLI, p. 17.

[3] E. Bourquelot et E. Danjou, **1**, 1905, t. CXLI, p. 59.

le dédoublement de cette substance donne une aldéhyde dont MM. L. Guignard et J. Houdas[1] ont démontré l'identité avec l'aldéhyde benzoïque. MM. E. Bourquelot et E. Danjou[2] ont isolé ensuite le glucoside en question et constaté qu'il s'agit d'un corps nouveau, auquel ils ont donné le nom de *sambunigrine*.

La sambunigrine cristallise en longues aiguilles incolores fusibles à 151-152°. Elle est lévogyre. Sa formule est $C^{14}H^{17}NO^{6}$. L'émulsine l'hydrolyse en donnant du glucose (une molécule), de l'aldéhyde benzoïque et de l'acide cyanhydrique :



$$C^{14}H^{17}NO^{6} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{5}.CHO + H.CN.$$

Dhurrine. — Tous les glucosides que nous venons de passer en revue fournissent, par dédoublement, en même temps que du glucose et de l'acide cyanhydrique, de l'aldéhyde benzoïque. La *dhurrine* retirée par MM. Dunstan et Henry[3] des jeunes pousses du Sorgho vulgaire (grand Millet, appelé en Égypte *Dhurra shirshabi*), dont la toxicité est connue depuis longtemps des agriculteurs indigènes, se dédouble, sous l'influence d'un enzyme, apparemment identique à l'émulsine, en donnant du glucose, de l'acide cyanhydrique et de l'aldéhyde para-oxybenzoïque.

Ce glucoside, obtenu bien cristallisé, possède la formule $C^{14}H^{17}NO^{7}$.

La plante, séchée à l'air et mesurant 30 — 35 cm. de hauteur, a fourni par kilogramme jusqu'à plus de 2 gr. d'acide cyanhydrique.

1 L. Guignard et J. Houdas, 1905, t. CXLI, p. 448.
2 E. Bourquelot et E. Danjou, 1, 1905, t. CXLI, p. 598.
3 Dunstan et Henry, 1902, t. LXX, p. 153.

Glucoside du Sorghum vulgare *d'Amérique.* — M. Slade[1] a extrait du *Sorghum vulgare* Pers., cultivé dans l'Amérique du Nord, un glucoside assez voisin de la durrhine, mais non identique à cette dernière.

Phaséolunatine. — Elle a été extraite par MM. Dunstan et Henry des graines de *Phaseolus lunatus* L. Ce glucoside serait fusible, d'après les auteurs, à 141°, et sa formule serait $C^{10}H^{17}NO^{6}$.

La phaséolunatine, accompagnée d'une diastase analogue à l'émulsine, se dédouble, en présence de l'eau: en glucose, acétone et acide cyanhydrique.

MM. Dunstan, Henry et Auld[2] ont, en 1906, repris l'étude de la cyanogénèse dans le *Linum usitatissimum* Hayn., isolé un glucoside que M. Jorissen avait déjà examiné en 1883 sous le nom de « linamarine ». Il a identifié ce glucoside avec la phaséolunatine. Ce même glucoside est aussi celui qu'on rencontre dans la racine de Manioc amer. Quant à l'enzyme, il est probablement identique à celui du Haricot de Java (*Phaseolus lunatus* L.).

La présence du même principe dans des plantes aussi différentes et appartenant à des familles aussi éloignées est digne de remarque.

Gynocardine et gynocardase. — Les semences de *Gynocardia odorata* R. Br., plante de la famille des Bixacées, fournissent un glucoside cyanogénétique, la *gynocardine,* d'abord isolé par MM. Power et Gornall[3], puis étudié à nouveau par MM. Power et Lees[4]. Ce

[1] Slade, 1903, t. XXV, p. 55.
[2] Dunstan, Henry et Auld, 1906, t. LXXVIII, p. 145 et 152.
[3] Power et Gornall, 1904, t. XX, p. 137.
[4] Power et Lees, 1905, t. XXI, p. 88.

glucoside cristallise en aiguilles fusibles à 162-163°. Sa formule est. $C^{13}H^{19}NO^{9}$. Il est dextrogyre. Les acides étendus et bouillants l'hydrolysent avec difficulté, tandis que, au contraire, il est aisément dédoublé à la température ordinaire par un enzyme particulier, la *gynocardase*, isolé des graines. Les produits de ce dédoublement sont : le glucose (une molécule), l'acide cyanhydrique et soit une trihydroxyaldéhyde $C^{5}H^{4}(OH)^{3}$. CHO, soit une trihydroxycétone $C^{5}H^{5}(OH)^{3}$: CO.

Lotusine et lotase. — En 1900, MM. Dunstan et Henry[1] ont extrait la *lotusine,* glucoside du *Lotus arabicus* L., petite plante de la famille des Légumineuses. La lotusine répond à la formule $C^{28}H^{31}NO^{16}$. Par hydrolyse au moyen de l'acide chlorhydrique dilué, à chaud, ou sous l'influence d'un ferment particulier, la *lotase*, que renferme la plante, le glucoside se dédouble en donnant deux molécules de glucose, de l'acide cyanhydrique et une matière colorante jaune, la *lotoflavine.*

La lotase peut être comparée à l'émulsine, mais elle en diffère cependant à certains égards. L'émulsine des amandes amères n'attaque la lotusine que très lentement, tandis que la lotase n'a qu'une faible action sur l'amygdaline. La lotase perd son pouvoir hydrolytique beaucoup plus rapidement que l'émulsine.

Karakine. — M. Skey et ensuite MM. Easterfield et Aston[2] ont extrait un glucoside, la *karakine,* de l'amande du fruit du *Corynocarpus lævigata* Forst., Anacardiacée de l'île nord de la Nouvelle-Zélande et des îles Chatham. Un glucoside obtenu par MM. Easter-

[1] Dunstan et Henry, 1900, t. LXVII, p. 224 et 1901; t. LXVIII, p. 374.

[2] Easterfield et Aston, 1903, t. XIX, p. 191.

FIELD et ASTON, et nommé *corynocarpine*, n'est probablement qu'un produit de l'hydrolyse partielle de la karakine.

Vicianine. — M. MALLÈVRE[1] a publié une relation sur le dégagement facile d'acide cyanhydrique par les graines de la Vesce à feuilles étroites (*Vicia angustifolia* Roth.). Ces feuilles doivent la propriété de produire de l'acide cyanhydrique. quand on les broie avec de l'eau, à la présence d'une diastase qui paraît identique à l'émulsine et qui réagit sur un glucoside nouveau, auquel M. G. BERTRAND[2], qui l'a découvert et étudié, a donné le nom de *vicianine*.

La vicianine fond à 160°. Elle est lévogyre.

Distribution de l'acide cyanhydrique dans le règne végétal. — Ce sont les recherches de M. GRESHOFF, de M. VAN ROMBURGH et, récemment, celles de M. GUIGNARD, qui ont le plus largement contribué à augmenter nos connaissances sur l'existence de l'acide cyanhydrique dans les végétaux. Actuellement plus de 180 espèces, réparties entre 80 genres environ, appartenant à plus de 30 familles[3] de Phanérogames et quelques espèces de Cryptogames, sont indiquées comme productrices de cet acide. Passons en revue les différentes familles, en ne nous occupant que des espèces les plus intéressantes.

Chez les Renonculacées, nous citerons, comme plantes à acide cyanhydrique, l'Ancolie (*Aquilegia vulgaris* L.), certaines Renoncules (*Ranunculus arvensis* L., *R. repens* L.) et le *Thalictrum aquilegifolium* L. D'après

[1] MALLÈVRE.
[2] G. BERTRAND, 1, 1906, t. CXLIII, p. 832.
[3] GRESHOFF.

M. van Itallie[1], 100 gr. de feuilles fraîches de cette dernière plante fournissent 50-60 mgr. d'acide cyanhydrique ; le glucoside paraît se dédoubler de la même manière que la phaséolunatine.

Parmi les plantes à acide cyanhydrique, on trouve aussi des représentants des familles des Crucifères, des Bixacées, des Sterculiacées, des Tiliacées, des Linacées, des Rutacées, des Dichopétalacées, des Olacacées, des Célastracées, des Rhamnacées, des Sapindacées, des Anacardiacées.

Parmi les Légumineuses à acide cyanhydrique, nous mentionnerons tout d'abord le Haricot de Java (*Phaseolus lunatus* L.), qui contient, dans les organes végétatifs, à la fois de l'acide cyanhydrique libre et combiné, dans les graines seulement de l'acide cyanhydrique combiné (phaséolunatine). Dans les feuilles jeunes, n'ayant atteint que le tiers ou le quart de leurs dimensions définitives, M. Treub[2] a montré que la proportion est relativement considérable (0,150 — 0,250 °/₀, parfois même 0,280). Dans les feuilles adultes, le total, qui est en moyenne de 0,085 °/₀, dépasse rarement 0,100. Chez les feuilles âgées, il descend à 0,030 °/₀ et même au-dessous.

Dans la graine[3], la proportion varie selon l'origine. Les Haricots de Java sont, parmi les graines arrivées dans le commerce, les plus riches en principe cyanogénétique (0,190 — 0,408 °/₀). Dans les Haricots de Birmanie, rouges ou blancs, le chiffre d'acide cyanhydrique ne semble pas dépasser 0,020 °/₀. Quant aux

[1] L. van Itallie, 1906, 6e série, t. XXII, p. 337.
[2] Treub, 1904, t. XIX, p. 86.
[3] Guignard, 3, 1906, t. XIII, p. 401.

autres variétés, Haricots du Cap, de Madagascar, de Lima et de Sieva, la culture en a fait disparaître en très grande partie le principe vénéneux, qui ne dépasse pas d'ordinaire 0,010 %.

C'est chez les Rosacées qu'on rencontre le plus grand nombre d'espèces à acide cyanhydrique. On connaît maintenant plus de 75 de ces espèces, appartenant aux tribus des Amygdalées, des Pirées et des Spiréées. Chez les *Prunus* et les *Amygdalus*, les feuilles et les graines sont les organes qui renferment d'ordinaire le plus de substance cyanogénétique. Les feuilles du Laurier-cerise peuvent fournir jusqu'à 0,180 % d'acide cyanhydrique et même 0,286 % d'après M. Guignard, dans la variété *schipkaensis*, introduite récemment en France. La racine ne donne en moyenne que 0,015 %. Dans les amandes amères, la quantité d'amygdaline est très variable et correspond à des productions d'acide cyanhydrique comprises entre 0.065 et 0,221 %. Les amandes douces ne donnent pas trace d'amygdaline; mais, lors de la germination, l'acide cyanhydrique apparaît en quantité notable.

Dans la tribu des Pirées, le genre *Photinia* comprend un certain nombre d'espèces exotiques, parmi lesquelles le *P. serrulata* Lindl., dont les feuilles ont fourni, en novembre, de 0,015 à 0,120 % d'acide cyanhydrique suivant la provenance. L'âge des feuilles présente ici une influence assez marquée sur la teneur en glucoside cyanogénétique. M. Guignard[1], opérant sur l'individu qui a donné 0,120 % d'acide cyanhydrique en novembre, a constaté un maximum (0,170 %) dans les bourgeons.

[1] Guignard, **2**, 1906, t. CXLIII, p. 451.

Cette proportion diminue lorsque la feuille s'accroît rapidement, et vers la fin de l'année se produit un relèvement jusqu'à l'hiver. A partir de cette période et pendant la seconde année, la richesse demeure à peu près constante (0,135 %). La tige fournit une petite quantité d'acide cyanhydrique, mais on n'en obtient pas avec la racine.

Dans le genre *Cotoneaster* on remarque de très grandes différences, suivant les espèces, dans la richesse des feuilles en acide cyanhydrique (de 0,005 à 0,129 %).

Dans la tribu des Spiréées, il est intéressant de noter que chez le *Spiræa Aruncus* L., plante herbacée, le glucoside cyanogénétique s'accumule dans l'organe vivace, la racine, qui peut donner 0,070 % d'acide cyanhydrique, alors qu'en juillet, avec les feuilles, on en a obtenu seulement 0,027 %.

Dans les tribus des Pirées et des Spiréées, parmi les organes végétatifs, ce sont ordinairement les feuilles qui fournissent la plus forte proportion d'acide cyanhydrique.

Parmi les représentants de la famille des Saxifragacées, nous trouvons également des espèces à acide cyanhydrique. Le Groseillier rouge (*Ribes rubrum* L.) et le Groseillier jaune (*R. aureum* Pursh.) offrent, au point de vue de la présence et de la localisation du principe cyanhydrique dans les divers organes, et aussi de la répartition de l'émulsine, la plus grande analogie avec les Sureaux[1]. Vers le milieu de juin, la teneur moyenne en acide cyanhydrique libérable des feuilles cueillies sur des pieds portant des fruits encore verts est de

[1] GUIGNARD, 2, 1905, t. CXLI, p. 448.

0,0035. Elle diminue ensuite progressivement. La racine et le fruit n'en contiennent pas trace.

Les feuilles du Cassis, du Groseillier épineux et de plusieurs autres espèces sont exemptes d'acide cyanhydrique.

Continuant l'examen des diverses familles botaniques, nous rencontrons des plantes à acide cyanhydrique chez les Combrétacées, les Myrtacées, les Mélostomacées. les Samydacées.

Certaines espèces de la famille des Passifloracées[1] contiennent, dans la racine, des proportions abondantes d'un composé cyanhydrique (0,054 °/₀ d'acide cyanhydrique dans le *Passiflora cœrulea* L., 0,032 °/₀ dans le *P. racemosa* Brot.). Les feuilles fournissent également des quantités variables (0,004 — 0,048 °/₀) d'acide cyanhydrique. Au moment de leur chute, à la fin de novembre, M. Guignard a constaté que celles du *P. cœrulea* renfermaient, ressemblant en cela aux feuilles du Sureau, à peu près autant de principe cyanhydrique que pendant leur période de végétation la plus active.

Dans la famille des Caprifoliacées, on trouve de l'acide cyanhydrique chez le Sureau noir (*Sambucus nigra* L.) d'abord, puis chez ses deux variétés, le Sureau lacinié et le Sureau pyramidal[2]. Le glucoside est ici la sambunigrine. La teneur en acide cyanhydrique est en moyenne de 0,0225 °/₀.

Des feuilles prises sur des rameaux encore peu développés renferment très sensiblement, dans le cas

[1] Guignard, **3**, 1906, t. XIII, p. 603.

[2] Guignard, **2**, 1905, t. CXLI, p. 16 et p. 1193. — Bourquelot et E. Danjou, **1**, 1905, t. CXLI, p. 59; **2**, 1905, 6e série, t. XXII, p. 154, 210.

de Sureau noir, la même quantité de glucoside que les feuilles du sommet des rameaux âgés de cinq ou six mois (0,0225 % d'acide cyanhydrique). Des feuilles prises sur un arbre âgé et peu vigoureux n'ont donné que 0,0071 — 0,0075 % d'acide cyanhydrique. Chez le Sureau noir, l'écorce des rameaux renferme, à poids égal, d'autant moins de principe cyanhydrique que ces rameaux sont plus âgés. En somme, dans l'écorce comme dans la feuille, la proportion du glucoside paraît être en relation avec celle de la chlorophylle. Vers la fin de la période végétative, le glucoside n'émigre pas en nature dans la tige, il reste dans la feuille qui tombe.

Les fruits verts fournissent de l'acide cyanhydrique, mais ce dernier a complètement disparu dans le fruit mûr. La racine et la graine mûre du Sureau noir, bien que contenant de l'émulsine, ne renferment pas de glucoside.

Le Sureau à grappes (*Sambucus racemosa* L.) et le Hièble (*S. Ebulus* L.) ne fournissent d'acide cyanhydrique par aucun de leurs organes.

Des plantes à acide cyanhydrique se rencontrent aussi dans les familles des Rubiacées, des Composées, des Sapotacées, des Asclépiadacées, des Convolvulacées, des Bignoniacées, des Euphorbiacées, des Urticacées, des Aracées.

Parmi les Graminées, le *Glyceria aquatica* Wahl. est la première plante dans laquelle l'acide cyanhydrique ait été signalé, par M. Jorissen[1], en 1884. Quelques années plus tard, MM. Dunstan et Henry[2] le

[1] A. Jorissen, 1885, 5e série, t. XI, p. 286.
[2] W. R. Dunstan et T. A. Henry, 1902, t. LXX, p. 153.

rencontraient dans le Sorgho, M. Brunnich[1] dans certains *Paniculum*, M. Pouchet[2], puis MM. Heim et Hébert[3] dans des *Stipa* du Sud de l'Amérique ; et enfin tout récemment M. Jitschy[4] ajoutait à cette liste certains *Melica* et le *Gynerium argenteum* Nus., cette dernière espèce pouvant en fournir jusqu'à 0,023 °/₀.

Le cas le mieux étudié et le plus intéressant parmi ceux des Graminées à acide cyanhydrique correspond au Sorgho (*Sorghum vulgare* Pers.), qui est cultivé souvent comme fourrage dans les régions chaudes du globe, éventuellement aussi dans les régions tempérées. C'est, avons-nous vu, à la présence de la dhurrine que cette plante doit ses propriétés nocives. La culture du Sorgho sur un sol abondamment fumé avec le nitrate de sodium augmente, ainsi que l'a constaté M. Brunnich[5], la production d'acide cyanhydrique dans les tiges et les feuilles.

Dans le *Sorghum halepense* Pers.. M. Guignard[6] a signalé également l'existence du glucoside cyanhydrique.

Nous ajouterons, pour terminer cette énumération, que l'acide cyanhydrique a été mentionné chez quelques Cryptogames[7].

[1] J.-C. Brunnich, 1903, t. LXXXIII, p. 788.
[2] Pouchet, 1903, 3e série, t. LII, p. 611.
[3] F. Heim et A. Hébert, 1894, nº 9, p. 382.
[4] P. Jitschy, 1906, 6e série, t. XXIV, p. 355.
[5] Brunnich, 1903, t. LXXXIII, p. 791.
[6] L. Guignard, 2, 1905, t. CXLI, p. 1193.
[7] Pour plus de détails en ce qui concerne les plantes à acide cyanhydrique, le lecteur pourra lire avec profit une excellente étude consacrée à cette question par M. P. Guérin, 1907, 5e série, t. VIII, p. 65 et 106.

La greffe des plantes à acide cyanhydrique. — Continuant ses très intéressantes recherches sur les plantes à acide cyanhydrique, M. L. Guignard[1] a observé que lorsqu'un végétal à glucoside cyanhydrique est greffé sur un autre végétal totalement dépourvu de ce composé, ou inversement, il n'y a aucun transport du glucoside ni du greffon dans le sujet, ni du sujet dans le greffon.

Chez celles des Rosacées qui possèdent comme caractère physiologique commun la faculté d'élaborer des glucosides cyanhydriques, la migration de ces substances n'a lieu entre les individus associés par le greffage qu'autant que ces individus représentent deux espèces d'un même genre et renferment le même glucoside.

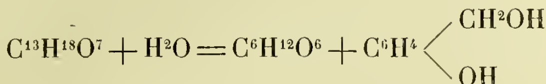
Malgré les échanges de matières qui s'effectuent pour la nutrition et le développement chez les plantes greffées, certains principes organiques restent localisés dans l'un ou dans l'autre des conjoints : c'est là un fait que le travail de M. L. Guignard met très nettement en évidence. Dans la symbiose artificielle que réalise le greffage, chaque espèce conserve son chimisme propre et son autonomie.

Formation d'aldéhyde salicylique.

La salicine et le glucoside de la Reine des prés. — Dans plusieurs espèces de Saules et de Peupliers il existe un glucoside, la *salicine*, $C^{13}H^{18}O^{7}$, qui, par

[1] L. Guignard, 2, 1907, t. CXLV, p. 1376.

hydrolyse sous l'influence de l'émulsine, donne du glucose et de la saligénine (alcool salicylique) :



$$C^{13}H^{18}O^{7} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{4}\left\langle\begin{array}{l}CH^{2}OH\\ OH\end{array}\right.$$

Par oxydation. la salicine fournit de l'aldéhyde salicylique.

Peschier[1] d'une part, Buchner[2] d'autre part, pensaient que la salicine existait dans les bourgeons floraux de la Reine des prés (*Spiræa Ulmaria* L.) et qu'elle se transformait en aldéhyde salicylique par oxydation au moment de la floraison. MM. Schneegans et Gerock[3] ont montré que le glucoside en question n'est pas de la salicine et que les fleurs ne contiennent pas d'aldéhyde salicylique en liberté. Cette aldéhyde ne se forme ordinairement qu'au moment de la distillation par l'action d'un ferment sur une substance autre que la salicine.

Formation de vanilline.

M. H. Lecomte[4] a publié un fort intéressant travail sur la formation du parfum de la vanille. Il a reconnu, dans les divers organes du Vanillier, la présence constante d'un ferment oxydant.

Chez le fruit mûr, c'est le parenchyme interne du

[1] Peschier, t. XLIV, p. 418.
[2] Buchner, t. LXXXVIII, p. 284.
[3] Schneegans et Gerock, 2, 1892, p. 164.
[4] H. Lecomte, 1901, t. CXXXIII, p. 745.

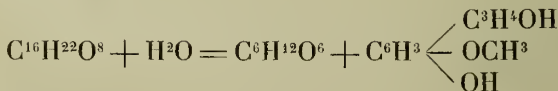
péricarpe qui en renferme le plus ; le pédoncule du fruit vert contient une oxydase dans ses tissus ; celui du fruit mûr, mais non préparé, en manque presque complètement. Or, précisément, la préparation ne développe que très peu de vanilline dans cette partie du fruit.

Tandis que les vanilles les plus estimées (Mexique, Réunion, Mayotte, Seychelles) contiennent l'oxydase en proportion notable, les vanilles médiocres, comme la vanille de Tahiti et le vanillon de la Guadeloupe, n'en renferment pas ou se colorent à peine par la teinture de Gayac.

Indépendamment de cette oxydase, le suc extrait du Vanillier contient un autre ferment susceptible d'hydrolyser l'amidon.

M. Lecomte a donc constaté, dans le Vanillier, la présence simultanée de deux ferments distincts, l'un hydratant, l'autre oxydant, dont l'existence paraît intimement liée à la production de la vanille.

En dehors de ces faits positifs, M. Lecomte fait l'hypothèse suivante sur la formation de la vanilline dans les fruits pendant la préparation ; le ferment hydratant convertirait la coniférine naissante en glucose et en alcool coniférylique :



$$C^{16}H^{22}O^{8} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{6}H^{3} \begin{cases} C^{3}H^{4}OH \\ OCH^{3} \\ OH \end{cases}$$

La présence du glucose est, en effet, constante dans la vanille. D'autre part, l'alcool coniférylique serait transformé en vanilline par l'action de l'oxydase.

Formation de coumarine.

D'après M. Cauvet, la coumarine apparaît dans les feuilles d'*Aceras anthropophora* R. Br. après fermentation. Il est probable que la formation de ce corps est due aussi au dédoublement d'un glucoside.

Formation de nitrile phénylacétique.

Pless[1] a contaté que l'essence de Cresson ne se développait dans les semences que sous l'influence de l'eau, tout comme cela a lieu lorsqu'il s'agit d'un dédoublement de glucoside.

Formation d'isosulfocyanate de butyle secondaire.

L'essence de *Cochlearia officinalis* L. s'obtient en faisant macérer l'herbe sèche avec de l'eau additionnée de poudre de moutarde blanche. Elle ne préexiste pas, mais provient d'un dédoublement provoqué par un enzyme[2].

Formation d'isosulfocyanate d'allyle.

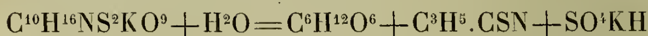
La sinigrine et la myrosine. — Les semences de Moutarde noire (*Sinapis nigra* L.), broyées et mises au contact de l'eau, dégagent une odeur irritante. Glaser[3],

[1] Pless, 1846, t. LVIII, p. 39.
[2] Gadamer, 1, 1898, t. XIII, p. 679.
[3] Glaser, 1825, I, t. XXII, p. 102.

Boutron et Robiquet[1], Fauré[2], Guibourt[3] reconnurent que l'essence ne préexistait pas dans les semences de Moutarde. Peu après, Boutron et Frémy[4] caractérisèrent dans les graines la présence d'un ferment, la *myrosine*, et Bussy[5] isola un glucoside qui, sous l'influence de ce ferment, donne naissance à l'essence de Moutarde. Ce glucoside fut appelé « myronate de potasse ». Il a reçu plus récemment le nom de *sinigrine*, et sa vraie formule $C^{10}H^{16}NKS^{2}O^{9}$ a été établie par M. Gadamer[6].

La myrosine, ferment hydrolysant la sinigrine, se trouve dans un grand nombre de Crucifères.

Ainsi que l'ont démontré Ludwig et Lange[7], le myronate de potasse (sinigrine) se dédouble, sous l'influence de la myrosine, en glucose, isosulfocyanate d'allyle et bisulfate de potassium :



$$C^{10}H^{16}NS^{2}KO^{9} + H^{2}O = C^{6}H^{12}O^{6} + C^{3}H^{5}.CSN + SO^{4}KH$$

D'après M. Gadamer, la sinigrine n'existe pas seulement dans la Moutarde noire. C'est aussi au dédoublement de ce corps que l'on doit la formation de l'isosulfocyanate d'allyle dans la racine de Raifort (*Cochlearia Armoracia* L.) et probablement aussi dans l'herbe et les semences de *Thlaspi arvense* L.

M. L. Guignard[8] a démontré, non seulement pour

[1] Boutron et Robiquet, 1831, 2e série, t. XVII, p. 294.
[2] Fauré, 1831, 2e série, t. XVII, p. 299, et 1835, t. XXI, p. 464.
[3] Guibourt, 1831, 2e série, t. XVII, p 1360.
[4] Boutron et Frémy, 1840, 2e série, t. XXVI, p. 48 et 112.
[5] Bussy, 1840, 2e série, t. XXVI, p. 39.
[6] Gadamer, **2**, 1897, t. CCXXXV, p. 44.
[7] Ludwig et Lange, 1860, t. III, p. 430 et 577.
[8] L. Guignard, **2**, 1895, t. CXI, p. 249 et 920.

le cas des graines de Moutarde, mais pour les divers organes des Crucifères en général, que le ferment et le glucoside sont contenus dans des cellules distinctes.

Diffusion de la myrosine dans la famille des Crucifères. — La myrosine est extrêmement répandue chez les Crucifères, ainsi que l'a constaté M. L. Guignard. Ce savant a remarqué que les graines qui possèdent de nombreuses cellules contiennent aussi une proportion notable de glucoside. Il y a cependant quelques exceptions : l'*Isatis tinctoria* L., par exemple, quoique abondamment pourvu de cellules à ferment, ne contient pour ainsi dire pas de glucoside. Chez toutes les Crucifères qui sont pourvues de myrosine, et il n'y a sous ce rapport que de très rares exceptions, la quantité de ce ferment est toujours de beaucoup supérieure à celle qui est nécessaire à la décomposition complète du glucoside dans l'organe considéré. Il existe à cet égard une très grande analogie entre les graines des Crucifères et les amandes amères, chez lesquelles la quantité d'émulsine renfermée dans un cotylédon peut dédoubler au moins quarante fois plus d'amygdaline qu'il n'en contient.

La nature du glucoside varie, chez les Crucifères, d'une espèce à une autre, ainsi qu'on va pouvoir en juger par ce qui va suivre; mais le ferment est le même.

Diffusion de la myrosine dans la famille des Capparidacées. — L'existence de cellules spéciales à ferment est générale chez les Capparidées. Toutes les réactions de leur contenu sont celles de la myrosine. C'est chez les Câpriers qu'elles sont le plus nombreuses et que le glucoside, dont elles opèrent la décomposition dans

les mêmes conditions que chez les Crucifères, est aussi le plus abondant ; le ferment y prédomine dans certains organes, tels que la fleur et surtout la pulpe du fruit. La graine, au contraire, dans toutes les Capparidées, est relativement pauvre en ferment et en glucoside[1].

Diffusion de la myrosine dans la famille des Tropæolacées et des Résédacées. — Voir plus loin.

Diffusion de la myrosine dans la famille des Limnanthacées. — Les recherches de M. L. Guignard[2] ont montré qu'il existe, dans les divers organes des Limnanthacées, des cellules à ferments spécialisées, comme chez les Crucifères, les Capparidacées, les Tropæolacées et les Résédacées, auxquelles elles ressemblent par la nature du ferment et par les conditions dans lesquelles celui-ci agit sur le glucoside qui l'accompagne.

Formation d'isosulfocyanate de benzyle.

La glucotropæoline. — L'herbe de Capucine (*Tropæolum majus* L.) renferme un glucoside, la *glucotropæoline* $C^{14}H^{18}KNS^{2}O^{9} + n\,H^{2}O$, qui a été étudié par M. Gadamer[3]. M. Guignard[4] a démontré que l'huile essentielle se forme par dédoublement du glucoside sous l'influence d'un ferment, et que ces deux principes sont localisés dans des cellules différentes. D'ailleurs, ce fait n'est pas seulement vrai pour les parties vertes, mais aussi pour les autres organes, et en particulier pour la fleur.

[1] L. Guignard, 2, 1898, t. CXVII, p. 493.
[2] L. Guignard, 2, 1898, t. CXVII, p. 751.
[3] Gadamer, 2, 1899, t. CCXXXVII, p. 111.
[4] L. Guignard, 2, 1898, t. CXVII, p. 587.

Si, avant la distillation, les membranes cellulaires ne sont pas entièrement rompues, le ferment, rendu inactif par la chaleur, ne dédouble pas le glucoside, et celui-ci se décompose pendant la distillation en donnant, non plus de l'isosulfocyanate de benzyle, mais du nitrile phénylacétique.

Diffusion de la myrosine dans la famille des Tropæolacées. — C'est la myrosine qui dédouble la glucotropæoline dans la Capucine. Dans la famille des Tropæolacées, les belles recherches de M. L. Guignard l'établissent, tous les organes contiennent le ferment localisé dans des cellules distinctes de celles où se trouve le glucoside qu'il décompose pour donner l'essence; cette dernière ne préexiste donc pas dans les tissus et ne peut se former sans l'intervention du ferment.

Formation d'isosulfocyanate de phényléthyle.

Par distillation des racines de Réséda (*Reseda odorata* L.), on obtient une essence constituée par de l'isosulfocyanate de phényléthyle. Cette essence provient encore du dédoublement d'un glucoside sous l'influence d'un ferment (myrosine) [1].

Diffusion de la myrosine dans la famille des Résédacées. — D'une manière générale, M. Guignard a observé chez les Résédacées indigènes des cellules à myrosine bien caractérisées dans la racine, la tige et la feuille. On ne les distingue pas dans la graine mûre, quoique l'expérience y démontre la présence du ferment; pour avoir chance d'en apercevoir quelques-unes, il faut étu-

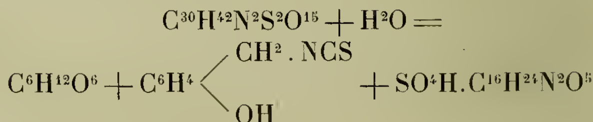
[1] L. Guignard, 2, 1898, t. CXVII, p. 861.

dier la graine avant la maturité. Le glucoside se rencontre surtout dans la racine ; quant à l'essence, elle n'y préexiste pas plus que dans les familles que nous avons eu l'occasion de passer en revue dans ce qui précède.

Formation d'isosulfocyanate de p-oxybenzyle.

La sinalbine. — Les semences de Moutarde blanche (*Sinapis alba* L.), broyées et mises en contact avec l'eau, prennent une saveur forte. ROBIQUET et BOUTRON-CHARLARD[1] avaient isolé le principe qui se forme dans ces conditions. H. WILL et LAUBENHEIMER[2] ont extrait le glucoside en épuisant la semence (privée de son huile grasse par expression) au moyen de l'alcool bouillant, et l'ont appelé *sinalbine*. M. GADAMER[3] a repris l'étude de ce corps et recherché une explication précise des phénomènes qui provoquent la formation de l'essence.

La sinalbine, traitée par une solution aqueuse de myrosine, donne naissance à du glucose, à de l'isosulfocyanate de p-oxybenzyle et à du sulfate acide de sinapine, suivant l'équation :



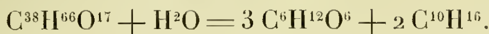
$$C^{30}H^{42}N^2S^2O^{15} + H^2O =$$

$$C^6H^{12}O^6 + C^6H^4 \left\langle \begin{matrix} CH^2.NCS \\ OH \end{matrix} \right. + SO^4H.C^{16}H^{24}N^2O^5$$

[1] BOUTRON et ROBIQUET, 1831, 2e série, t. XVII, p. 279.
[2] H. WILL et LAUBENHEIMER, 1879, t. CXCIX, p. 150.
[3] GADAMER, 2, 1897, t. CCXXXV, p. 83.

2. — COMPOSÉS TERPÉNIQUES

Le principe amer du Safran, la *picrocrocine*, est susceptible de donner, par hydrolyse, en même temps qu'un sucre, un terpène $C^{10}H^{16}$:



$$C^{38}H^{66}O^{17} + H^2O = 3\,C^6H^{12}O^6 + 2\,C^{10}H^{16}.$$

Voilà donc un exemple de composé terpénique qui peut prendre naissance par dédoublement d'un glucoside.

Ce cas est, à notre connaissance, le mieux caractérisé. Mais il n'est pas unique. On sait, en effet, grâce aux observations de M. Carles[1], que l'essence de Valériane, renfermant elle aussi des composés terpéniques, se forme sous l'influence d'une oxydase.

Enfin, les feuilles fraîches de Patchouli sont inodores ou à peu près inodores, et l'huile essentielle prend naissance au cours d'une fermentation. Pour provoquer la formation des principes odorants, les feuilles de Patchouli sont soumises au traitement suivant : On les sèche rapidement sur des claies en bambou, en ayant soin de les retourner souvent. Lorsqu'il ne reste que l'humidité nécessaire pour provoquer une légère fermentation, on met les feuilles en tas, et on laisse se produire un léger échauffement. On les étend alors à nouveau, pour terminer la dessiccation. En examinant des feuilles de Patchouli récoltées au Jardin colonial de Nogent-sur-Marne, nous avons pu vérifier nous-mêmes que le parfum ne préexistait pas dans ces feuilles.

[1] Carles, t. XII, p. 148.

Genèse des matières odorantes.

Depuis longtemps les botanistes se sont efforcés de rechercher non seulement le siège de la sécrétion des matières odorantes, mais encore la nature des matières premières aux dépens desquelles elles s'élaborent.

Bien entendu, toutes les théories qui ont été émises reposent sur des bases microchimiques, et l'imperfection des réactifs que nous possédons rend impossible toute recherche sérieuse faite dans ce sens.

Tout d'abord nous avons eu, au cours de cet ouvrage, l'occasion de montrer combien variés sont les constituants des composés odorants. Aussi peut-on penser que leur source ne soit pas unique.

Les recherches physiologiques de MM. Charabot et Laloue ont mis en lumière que le siège de la formation des essences est le parenchyme chlorophyllien, fait admis déjà, à la suite de recherches microchimiques, par MM. Blondel[1] et Mesnard[2].

Mais on pouvait penser que c'était dans la cellule active même ou dans sa membrane que s'élaboraient les produits odorants, aux dépens de substances généralement contenues dans les végétaux.

C'est ainsi, par exemple, que l'abondance des matières tannantes au voisinage des réservoirs à sécrétion a conduit certains auteurs[3] à admettre que les constituants des essences se formaient aux dépens des tanins et des matières tannoïdes.

[1] Blondel.
[2] Mesnard.
[3] Wilke.

En réalité, M. Tschirch[1] a montré qu'il existe une étroite parenté entre certaines résines et les matières tannantes. Il a désigné ce groupe de résines sous le nom de résines tannoliques, sécrétions résineuses qui renferment les éthers des résinotannols et d'acides aromatiques appartenant aux séries de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique.

Mais les matières tannantes se rencontrent si abondamment dans les tissus des végétaux, même dans ceux qui ne renferment pas de sécrétion, ou dont les sécrétions ne renferment pas de résinotannols (Conifères), qu'il est impossible d'établir dans ce sens une théorie de la formation des constituants des parfums.

M. Mesnard[2], en se basant également sur des réactions chimiques. considère les matières odorantes comme des produits d'usure de la chlorophylle. La série :

Chlorophylle. — Composés tannoïdes intermédiaires. — Baumes. — Résines. — Huiles essentielles.

constituerait une suite de produits de désassimilation de la chlorophylle. On ne peut guère considérer cette manière de voir que comme une hypothèse, que les réactifs employés par son auteur ne permettent pas d'appuyer d'une façon suffisamment sûre.

On a encore recherché une parenté entre la membrane cellulaire[3], l'amidon[4] et les composés odorants, sans pouvoir l'établir avec la moindre précision.

[1] Tschirch, 3, 1907, t. XVIII, p. 750.
[2] Mesnard.
[3] Wigaud, 1850, t. VIII. — Karsten, 1857, t. XV.
[4] Wiesner. — Möller. — Hanausek.

Enfin M. Tschirch a montré que certains des alcools contenus dans la résine, que l'on désigne communément sous le nom de *résinols*, peuvent dériver de sucres en C^5.

La question reste donc entière, et il ne semble pas qu'elle soit soluble, ainsi que nous avons eu déjà l'occasion de le dire, par les moyens actuellement en notre pouvoir.

Disons enfin que la consistance presque toujours mucilagineuse de la partie externe des membranes des cellules actives, celle que M. Tschirch appelle la couche résinogène, fait penser à cet auteur que les hémicelluloses sont dans les rapports les plus étroits avec la sécrétion des huiles essentielles et des résines.

L'ensemble des observations dont les résultats ont été indiqués dans ce chapitre va nous permettre d'indiquer un mécanisme plus vraisemblable de la formation des produits odorants chez la plante.

Les travaux de MM. Charabot et Laloue ont montré que les huiles essentielles se forment dans les organes verts, lorsque la fleur n'est pas la seule partie odorante de la plante. On pourrait avoir quelque étonnement à constater que, chez certaines plantes, le parfum se rencontre, malgré cela, uniquement dans la fleur. M. Hesse a, d'autre part, observé que certaines fleurs, comme le Jasmin et la Tubéreuse, sont susceptibles de produire, ou plutôt, pour employer une expression qui rend mieux notre pensée, de libérer du parfum alors qu'on prolonge leur vie. D'autres au contraire, comme la fleur d'Oranger, renferment à l'état libre une quantité d'essence qui n'augmentera plus lorsque la fleur aura été séparée du végétal. Ce résultat présente un réel intérêt, surtout si on le met en parallèle

avec ce fait que les fleurs de Jasmin et de Tubéreuse sont précisément produites par ces plantes dont aucun des autres organes n'est odorant. L'Oranger, au contraire, renferme une huile essentielle dans toutes ses partiès.

M. Hesse a interprété les résultats de ses très intéressantes expériences en disant que la fleur de Jasmin et la fleur de Tubéreuse sont capables, pendant le cours de leur vie, d'émettre du parfum d'une façon continue. De sorte qu'une partie seulement de la matière odorante produite reste emprisonnée dans les cellules, et le reste se répand dans l'atmosphère. Il exprime l'opinion que, lors de l'enfleurage, la graisse ne se parfume pas au contact de la fleur, mais qu'elle absorbe les matières odorantes qu'elle a rejetées. J. Passy avait, d'ailleurs, la même manière de voir.

Nous donnerons une explication des phénomènes qui présentera quelques différences avec celle de M. Hesse. Pour nous, pendant l'opération de l'enfleurage, la graisse joue réellement le rôle d'un dissolvant. Elle constitue un milieu qui ne se trouve séparé du contenu cellulaire que par la paroi semi-perméable formée par le tissu des pétales. Et il y a contact entre la graisse et la fleur. Dans ces conditions, un échange se produit; la matière odorante, par osmose, se rend dans la graisse. La preuve du contact réel entre la fleur et la graisse réside dans le fait que celle-là emporte avec elle une proportion notable de matières grasses après l'enfleurage, et que lorsqu'on veut la soumettre à certains traitements en vue de l'extraction du parfum qu'elle retient encore, on y constate la présence de ces corps gras en quantité assez abondante. Il semble même

que ces corps gras ne représentent qu'une fraction de la matière primitive, ce qui montrerait que leur enlèvement ne serait pas dû à une simple adhérence. Quant à la graisse qui, étendue sur la face inférieure du châssis, ne se trouve pas en contact direct avec les fleurs, elle n'emporterait pas de bien grandes quantités d'essence, si l'on ne prenait la précaution de la charger de fleurs le lendemain, après avoir retourné le châssis. Et, d'ailleurs, il serait difficile de concevoir comment le parfum du Jasmin pourrait se répandre plus aisément dans l'atmosphère que celui de la fleur d'Oranger, puisque tous deux sont dus à des matières analogues et ont même une partie de leurs constituants identiques. Nous pensons que la production de parfum qui a lieu après la cueillette de la fleur de Jasmin est due à une autre cause que nous allons indiquer.

Nous avons vu qu'un grand nombre de produits odorants, très variés par leurs fonctions et leurs structures chimiques, prennent naissance par dédoublement hydrolytique de glucosides bien définis. Il suffirait de concevoir la généralité d'un tel mécanisme pour arriver à expliquer d'une façon satisfaisante tous les faits exposés dans ce chapitre. C'est d'ailleurs bien l'opinion exprimée par M. Hesse à la suite de ses recherches.

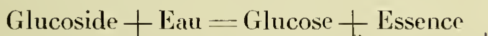
Il y a lieu de penser, nous semble-t-il, que le glucoside susceptible de fournir l'essence se forme ou tend à se former dans les parties vertes.

Le plus souvent ce glucoside rencontre immédiatement les conditions de milieu favorables à son dédoublement, et alors l'essence apparaît aussitôt dans les parties vertes pour circuler, évoluer et jouer son rôle d'après les lois énoncées dans cet ouvrage. Il se peut

même que le milieu se prête si bien au dédoublement du glucoside, que celui-ci ne puisse se former ; dans ce cas, la totalité de l'essence se trouvera à l'état de liberté dans les organes verts.

Dans d'autres cas, le glucoside ne rencontrera le ferment hydrolysant que dans la fleur. Ce sera donc seulement après avoir circulé jusqu'à cet organe, en subissant en cours de route des modifications plus ou moins profondes, qu'il pourra libérer les constituants de l'huile essentielle, et la fleur seule sera odorante. Il n'est pas impossible que, chez certaines fleurs, le milieu soit si favorable au dédoublement du glucoside, que celui-ci se scinde intégralement dès son arrivée. De semblables fleurs, s'il en est, ne donneraient pas par enfleurage des rendements supérieurs à ceux qu'elles fourniraient par les autres méthodes d'extraction, alors même qu'elles proviendraient de plantes ayant toutes les autres parties inodores.

La formation de nouvelles quantités d'essence au fur et à mesure de l'enfleurage s'explique par un phénomène d'équilibre chimique. La réaction :



Glucoside + Eau = Glucose + Essence

sera limitée par la réaction inverse, et on arrivera à un état d'équilibre quand le glucose et l'essence auront atteint une certaine proportion. Aussi la fleur de Jasmin ou de Tubéreuse, comme les autres fleurs, abandonnée à elle-même, conserve-t-elle une quantité de parfum qui n'augmente pas. Au contraire, si l'huile essentielle est enlevée au fur et à mesure de sa formation, la décomposition du glucoside continuera de se produire, et l'on verra au dehors une quantité d'essence

relativement grande, encore que la fleur elle-même continue d'en renfermer. Par conséquent, l'apparition d'une nouvelle quantité de parfum chez la fleur dont on prolonge la vie, et dont on écarte constamment la matière odorante, se manifeste comme la conséquence d'un phénomène d'équilibre chimique dans la cellule végétale.

On peut se demander si, dans les organes verts, ce ne sont pas les phénomènes de consommation et de départ du glucose qui, tendant à mettre en œuvre d'une façon continue cette substance, favorisent chez certaines plantes à ce point la décomposition du glucoside ou des glucosides à essences, que la matière odorante se trouve mise en liberté aussitôt formée. Certes, dans cet ordre d'idées, les voies ouvertes à l'hypothèse sont nombreuses. Nous avons suivi celle qui nous a paru s'écarter le moins des faits positifs.

Influence de la nature du milieu extérieur sur la formation de l'essence.

Nous terminerons ce chapitre sur la formation des produits odorants par une étude d'ordre pratique. Il ne nous serait guère possible d'aborder dans toute sa généralité l'intéressant problème de l'influence du milieu sur la formation des parfums. Les recherches qu'il faudrait entreprendre pour cela seraient longues et nombreuses. Leurs résultats, d'ailleurs, seraient particuliers à chaque cas examiné. Notre but sera d'appeler l'attention sur ce fait que, en étudiant les besoins de chaque plante à parfum en principes constitutifs, il

sera possible d'augmenter dans des proportions notables la production en essence. Un exemple suffira pour bien mettre en lumière l'importance de cette question.

On verra plus loin que MM. Charabot et Hébert ont étudié, à divers points de vue, l'influence des sels minéraux sur une plante à essence, la Menthe poivrée, qui est l'objet, dans le Sud-Est de la France, d'une exploitation importante. Entre autres observations, MM. Charabot et Hébert rapportent que, d'une manière générale, l'addition au sol de sels minéraux s'est montrée favorable à la récolte, et les sels employés ont, presque dans tous les cas, joué le rôle d'engrais. L'accroissement du poids de la plante a été souvent considérable. Il y aura donc, pour le cultivateur, un intérêt puissant à faire une étude des matériaux à ajouter au sol selon la nature de celui-ci et aussi selon la plante à cultiver. L'industrie trouvera à son tour un avantage réel à cette manière de faire, car les plantes qu'elle recevra seront elles-mêmes notablement plus riches en essence, si l'engrais a été convenablement choisi. MM. Charabot et Hébert ont obtenu, à cet égard, des résultats très significatifs.

Nous plaçant au point de vue pratique, les travaux de MM. Charabot et Hébert ont montré que les meilleurs résultats étaient fournis par le chlorure d'ammonium, qui a pour effet d'augmenter considérablement le rendement en huile essentielle (celui-ci s'est trouvé presque doublé), tout en assurant une récolte sensiblement plus abondante.

Il y a donc là une méthode tout indiquée pour rendre plus productive la culture des plantes à parfums, dont le Sud-Est de la France tire une si grande partie

de ses richesses. Nous allons précisément montrer que cette question a reçu une orientation pratique.

En s'appuyant sur les travaux de MM. Charabot et Hébert, que nous exposerons plus loin et dont le résultat a été en particulier que la Menthe poivrée contient 0,25 % d'azote, 0,146 % d'acide phosphorique et 0,794 % de potasse, M. Belle[1] a composé de la façon suivante, pour les sols normaux, un engrais approprié :

Fumier	20 000 kg.	pour 1 hectare.
Salpêtre du Chili	300 »	
Superphosphate	400 »	
Sulfate de potassium	500 »	

En employant, comme on le fait d'habitude, des tourteaux de Sésame pour la fumure, on gaspille de l'azote et on introduit une quantité insuffisante de potasse.

L'engrais ci-dessus est employé de la façon suivante : On ajoute au sol le salpêtre en deux fois, le tiers lors de la plantation et un tiers vers le milieu de mai. Au salpêtre du Chili peut être substitué le sulfate d'ammoniaque, que l'on ajoute lors de la plantation à raison de 225 kgr. à l'hectare. Le superphosphate et le sulfate de potassium sont introduits en même temps que le fumier.

[1] M. L. Belle, 1907, t. XX, p. 80.

CHAPITRE V

ÉVOLUTION DES COMPOSÉS ODORANTS

Lorsqu'on étudie la composition des huiles essentielles, on est frappé de la coexistence de substances ayant le même squelette moléculaire, présentant les indices d'une parenté immédiate : c'est ainsi qu'un alcool est souvent accompagné de ses éthers composés, de ses produits d'oxydation, aldéhydes ou cétones, voire même d'hydrocarbures qui en dérivent par simple élimination des éléments de l'eau.

Ces relations avaient, dès 1893, attiré l'attention de M. G. Bertrand[1], qui concluait ainsi, à la suite de son étude sur l'essence de Niaouli : « Si on néglige les produits secondaires, on observe que l'essence de Niaouli est formée, en dehors du térébenthène (pinène) dextrogyre, par un mélange de trois corps : l'eucalyptol, un carbure bouillant à 175° (probablement limonène) et un terpinol : c'est précisément la composition du « terpinol de List », et l'on sait que celui-ci s'obtient en chauffant, avec de l'eau acidulée, la terpine $C^{10}H^{16},2H^2O$, résultant elle-même de l'hydratation spontanée des terpènes $C^{10}H^{16}$. Ainsi préexiste dans un pro-

[1] G. Bertrand, 2, 1893, 3e série, t. IX, p. 437.

duit naturel toute une série de corps que nous faisons dériver les uns des autres, dans nos laboratoires, par des réactions d'une extrême simplicité. Il y a là au moins une coïncidence remarquable, pleine d'intérêt au point de vue de la synthèse naturelle des essences chez les végétaux. » En suivant, dans les diverses parties d'un végétal, au fur et à mesure de son développement, les variations subies par ces substances, on devait donc arriver à établir l'ordre dans lequel elles se succèdent, la nature des réactions qui les modifient, les liens qui existent entre ces métamorphoses et les principales fonctions physiologiques de la plante.

Ainsi envisagée, la question comprend deux problèmes bien distincts : le premier, relatif à la nature des transformations chimiques subies par les produits odorants au fur et à mesure que s'accomplissent les fonctions de la vie ; le second, ayant trait aux mécanismes qui président à ces transformations.

La première partie du sujet a été traitée par M. Charabot[1], et son étude a été complétée à l'aide de divers documents analytiques accumulés par MM. Charabot et Laloue au cours de leurs recherches sur la formation et la circulation des composés odorants.

La seconde a été résolue par MM. Charabot et Hébert[2]. Nous allons examiner successivement ces deux questions.

[1] E. Charabot, 1, 1900, 7e série, t. XXI, p. 207.
[2] E. Charabot et Hébert, 1, 1904, 8e série, t. I, p. 362.

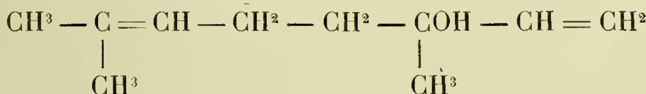
Modifications chimiques subies par les composés terpéniques chez la plante.

Pour étudier leur évolution, nous passerons en revue un certain nombre de composés terpéniques qui forment plusieurs groupes de corps, les représentants d'un même groupe faisant partie des principes constitutifs d'une même essence :

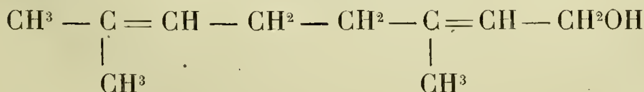
1° Des composés du groupe du linalol ;
2° Des composés du groupe du géraniol ;
3° Des composés du groupe du thuyol ;
4° Des composés du groupe du menthol.

1. — Les composés du groupe du linalol dans les végétaux.

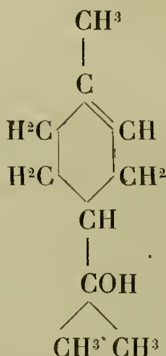
Nous devons rappeler ici que le *linalol* est un alcool tertiaire. Il répond à la formule :



Quand on le soumet à l'action des acides organiques, une partie s'éthérifie ; une autre partie se déshydrate en donnant des terpènes, parmi lesquels le *limonène*, $C^{10}H^{16}$; une troisième portion s'isomérise en donnant naissance à du *géraniol*, alcool primaire,



à du *nérol* qui est le stéréo-isomère du géraniol, et à du *terpinéol*, alcool tertiaire,



Le linalol gauche engendre du terpinéol droit, et inversement.

Il convient d'indiquer que cet ensemble de composés, linalol, géraniol, nérol, terpinéol et leurs éthers, se rencontrent souvent dans les mêmes essences et que, précisément, le linalol est généralement de signe optique contraire de celui du terpinéol qui l'accompagne.

Ajoutons que le géraniol donne, par oxydation, l'aldéhyde correspondante appelée *citral*, $C^{10}H^{16}O$, et existant à l'état naturel. Enfin, le terpinol est susceptible de donner naissance au *cinéol* (eucalyptol), $C^{10}H^{18}O$, à côté duquel on le trouve dans un nombre assez grand d'huiles essentielles.

Ces faits étant rappelés, nous allons étudier l'évolution des composés du groupe du linalol dans un certain nombre de végétaux : 1° fruit du Bergamotier (*Citrus*

Aurantium L. subspec. *Bergamia* Risso et Poiteau), 2° Lavande (*Lavandula vera* L.), 3° Oranger à fruits doux (*Citrus Aurantium* L. subspec. *sinensis* Gall α var. *dulcis* L.), 5° Oranger à fruits amers (*Citrus Bigaradia* Duhamel), 5° Basilic (*Ocimum Basilicum* L.).

BERGAMOTE

L'essence de Bergamote renferme principalement du *linalol*, $C^{10}H^{18}O$, à l'état libre et à l'état d'*éther acétique*, ainsi que des terpènes (*limonène* et *dipentène*).

Les expériences ont porté sur deux essences extraites par expression, l'une de fruits verts, l'autre de fruits mûrs cueillis sur les mêmes arbres.

L'analyse de ces essences a permis d'établir que pendant la maturation du fruit, *l'essence libre s'enrichit en éther, tandis que la proportion de linalol et celle de linalol total diminuent. Enfin, le rapport entre le linalol combiné et le linalol total augmente*; en d'autres termes, tout se passe comme si le linalol s'éthérifiait dans l'essence. Mais encore faut-il démontrer que le linalol apparaît avant son éther acétique. Cela découle de ce que la proportion de linalol total diminue, pendant que la proportion d'acétate de linalyle augmente ; l'acide acétique libre agissant sur le linalol en éthérifie une partie, tandis qu'une autre partie de cet alcool se déshydrate en produisant du limonène et du dipentène. Cette manière de voir se trouve encore corroborée par le fait que la masse du mélange terpénique augmente pendant l'éthérification, sans qu'on observe la moindre variation dans le rapport entre les proportions de ces deux ter-

pènes ; ce qui montre bien qu'ils prennent naissance simultanément au cours d'une seule et même réaction [1].

Montrons maintenant qu'il ne s'agit point là d'un processus particulier, et pour cela adressons-nous à un autre végétal élaborant du linalol.

LAVANDE

L'essence de Lavande renferme du *linalol* $C^{10}H^{18}O$, ainsi que des composés possédant avec cet alcool une parenté chimique, en particulier : *géraniol* $C^{10}H^{18}O$, *éthers* du linalol et du géraniol.

Pour étudier l'évolution des composés terpéniques dans la Lavande, M. Charabot [2] s'est servi de trois échantillons d'essence extraits à diverses époques de la vie de la plante. Ces essences étaient formées uniquement de la portion séparée par décantation. Mais l'auteur a constaté que l'acidité des eaux de distillation, rapportée à des poids égaux d'huile essentielle, allait en diminuant.

En suivant la composition de l'essence au cours de l'évolution de la plante, M. Charabot a vu *la proportion d'alcool libre et la proportion d'alcool total diminuer jusqu'au moment du complet épanouissement des fleurs, tandis que la proportion d'éther a augmenté, comme d'ailleurs le rapport de l'alcool combiné à l'alcool total; puis, lorsque la fleur s'est fanée, après la fécondation,*

[1] E. Charabot, 3, 1899, 3e série, t. XXI, p. 1083; 4, 1899, t. CXXIX, p. 728.

[2] E. Charabot, 3, 1900, 3e série, t. XXIII, p. 183; 4, 1900, t. CXXX, p. 257.

l'huile essentielle s'est enrichie en alcool, et sa teneur en éther a diminué.

Donc, ici encore, les choses se passent comme dans la Bergamote ; les éthers prennent naissance par l'action directe des acides sur les alcools. Toutefois, la destruction de la portion alcoolique, au fur et à mesure que s'opère l'éthérification, est moins sensible que dans le cas précédent. Dès à présent, nous rapprocherons cette observation de l'importance relativement faible que possèdent les parties vertes dans la Lavande, et aussi du peu d'abondance des terpènes dans l'huile essentielle. Nous aurons ainsi jeté quelque clarté sur les liens qui existent entre les trois faits suivants : médiocre développement des organes chlorophylliens dans la Lavande, faible diminution de la quantité de linalol, proportion minime de terpènes.

En analysant d'une part une essence extraite des plantes débarrassées de leurs inflorescences, d'autre part des plantes complètes, M. Charabot[1] a constaté que les parties vertes renfermaient une essence plus riche en éther que les inflorescences.

Ces résultats étant acquis, suivons plus loin le cheminement du linalol ou de ses dérivés.

ORANGER A FRUITS DOUX

L'essence de feuilles et de tiges d'Oranger à fruits doux renferme : 1° une abondante portion terpénique, dans laquelle le *camphène droit,* $C^{10}H^{16}$, a pu être identifié en même temps qu'une quantité moindre de

[1] E. Charabot, 3, 1901, 3e série, t. XXV, p. 261.

limonène; 2° du *citral,* $C^{10}H^{16}O$ (4 %); 3° des alcools (20 %), partie à l'état libre, partie à l'état d'éthers. Le *géraniol,* $C^{10}H^{18}O$, a pu être caractérisé avec certitude; le *linalol droit,* $C^{10}H^{18}O$, existe aussi vraisemblablement dans l'essence.

Celle-ci a été examinée à trois stades successifs du développement des organes qui l'élaborent, en ayant soin cette fois de considérer non pas seulement la portion non dissoute, mais aussi la partie retenue par les eaux de distillation[1].

Les quantités des différentes essences extraites des tiges étaient insuffisantes pour l'analyse. On a pu cependant constater qu'elles ne renfermaient que des traces de citral, d'où la conclusion suivante : *le citral se rencontre plus abondamment dans l'essence de feuilles que dans l'essence de tiges.*

Entre le premier et le second stade, la proportion d'éther augmente, ainsi que celle de citral; le rapport entre l'alcool combiné et l'alcool total croît; enfin la teneur en alcool total diminue. Ces résultats confirment les précédents en ce qui concerne l'éthérification des alcools et tendent à montrer que le citral n'était pas formé au début; il prend naissance pendant le développement des organes végétaux par oxydation des alcools (géraniol notamment), dont la proportion diminue à mesure qu'augmente celle du citral.

Comparant les conclusions examinées ici à celles qui ont été formulées dans le précédent chapitre, on voit que *la période d'éthérification active des alcools est*

[1] E. Charabot et Laloue, **1**, 1906, 3e série, t. XXXV, p. 916; **2**, 1906, t. CXLII, p. 798 et 860.

aussi celle pendant laquelle se forment des proportions notables d'essence.

A la fin, l'éthérification devient moins active.

ORANGER A FRUITS AMERS

Tiges et feuilles.

L'étude évolutive de l'essence de tiges et de feuilles d'Oranger à fruits amers a permis de préciser les conclusions qui précèdent.

MM. Charabot et Laloue[1] ont extrait l'essence de jeunes pousses et l'essence de rameaux vieux prélevés sur les mêmes arbres. Ils ont pris soin d'épuiser les eaux de distillation pour en extraire la portion de l'huile essentielle qu'elles retenaient, et ont pu ainsi reconstituer l'essence qui se trouvait dans le végétal.

L'essence de feuilles et de tiges d'Oranger à fruits amers renferme notamment : des terpènes (*limonène*, *dipentène*, etc.), du *linalol gauche*, du *géraniol*, du *nérol* et leurs *éthers acétiques*, du *terpinéol droit*. Le fait que le linalol et le terpinéol sont de signes optiques contraires, comme lorsque ce dernier corps prend naissance aux dépens du premier sous l'influence des acides, tend à montrer que c'est bien ainsi qu'il se forme chez la plante. Sachant en outre que le linalol, dans l'organisme végétal, se modifie sous l'influence des acides organiques pour s'éthérifier et se déshydrater, on sera conduit à admettre qu'il puisse aussi s'isomé-

[1] E. Charabot et Laloue, 1, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 884; 2, 1904, t. CXXXVIII, p. 1229.

riser en donnant du géraniol, du nérol et du terpinéol, comme cela a lieu *in vitro*. Les résultats auxquels nous allons arriver nous montreront, en effet, que le linalol peut se convertir en géraniol chez la plante.

Avec l'essence de tiges jeunes on n'a pu faire un dosage précis du géraniol; mais on a pu constater toutefois que cette essence était moins riche en linalol et plus riche en géraniol (le nérol est compté avec le géraniol) que l'essence de feuilles.

Au début de la végétation, l'essence de feuilles est moins riche en éther, moins riche en alcool total que l'essence de tiges. Le rapport entre l'alcool combiné et l'alcool total est, chez la feuille, plus faible que chez la tige.

L'essence de feuilles vieilles est très sensiblement moins riche en éther que l'essence de tiges. La première renferme une proportion plus notable d'alcool total (contrairement à ce qu'il en était au premier stade), plus de géraniol et moins de linalol que la seconde. Rappelons que, chez la tige jeune, l'essence était plus riche en géraniol que chez la feuille jeune.

Dans l'intervalle compris entre les deux stades considérés, il s'est produit dans l'essence de feuilles une faible augmentation de la proportion d'éther, de la valeur du rapport de l'alcool combiné à l'alcool total et de la proportion de géraniol total; par contre, on observe une diminution de la proportion de linalol total; la composition du mélange d'éther ne varie pas sensiblement, tandis que le mélange alcoolique libre s'enrichit en géraniol. Les transformations subies par l'essence de tiges pendant le développement de ces organes consistent en une augmentation notable de la

proportion d'éther et en une diminution de la proportion d'alcool total.

En examinant la composition des huiles essentielles que fourniraient d'une part les *rameaux jeunes entiers*, d'autre part les *rameaux vieux entiers*, également, MM. Charabot et Laloue ont constaté que, *au cours de la végétation, une portion des alcools s'éthérifie*, car le rapport de l'alcool combiné à l'alcool total augmente; on observe aussi qu'*une portion des alcools se déshydrate*. En effet, leur proportion diminue alors que la proportion des éthers augmente. Tous ces phénomènes sont identiques à ceux que l'on observe quand on fait réagir *in vitro* l'acide acétique, par exemple, sur le linalol : il y a éthérification, déshydratation et en même temps isomérisation avec formation de géraniol, de nérol et aussi de terpinéol déviant le plan de polarisation de la lumière en sens inverse du linalol employé.

En formulant ces remarques relatives à l'évolution des composés terpéniques, MM. Charabot et Laloue ont eu soin d'envisager non pas les essences correspondant aux différents organes (feuilles et tiges) séparés, mais bien l'essence contenue dans les rameaux entiers. Ils ont démontré en effet, comme nous l'avons vu dans le précédent chapitre, qu'une circulation de ces substances s'établit. Dans ces conditions, la composition de l'huile essentielle d'un organe est modifiée, non seulement par les transformations chimiques qu'elle subit, mais encore par les substances qu'elle reçoit des organes voisins ou qu'elle déverse dans ceux-ci. Si les produits odorants se métamorphosaient dans un organe sans l'abandonner, nous constaterions dans l'essence de feuilles, où

la proportion d'éther augmente, que l'éthérification s'est effectuée aux dépens du géraniol, alcool primaire, plutôt qu'aux dépens du linalol, alcool tertiaire. Or, tout en observant une augmentation de la proportion de géraniol total et une diminution de la proportion de linalol total, on ne note pas de variation sensible dans les proportions de géraniol et de linalol combinés. On est donc fondé à admettre, par ces seules considérations, qu'une circulation s'est établie entre la feuille et la tige en ce qui concerne les composés odorants. Or cette circulation a été démontrée, d'autre part, dans le chapitre précédent. On voit donc que tous les faits observés cadrent parfaitement avec les interprétations qu'en ont données les auteurs.

Fleurs.

Au cours de leurs travaux sur la formation et la circulation des composés odorants, MM. Charabot et Laloue[1] ont été amenés à comparer la composition des huiles essentielles extraites des boutons floraux et des fleurs épanouies.

L'essence de fleurs d'Oranger renferme, en même temps que des terpènes, du *linalol* et du *géraniol* libres et combinés, un éther d'acide amidé, l'*anthranilate de méthyle*.

Pendant le développement de la fleur, l'huile essentielle s'enrichit en éthers terpéniques, en anthranilate de méthyle et en alcool total. Le rapport entre la quan-

[1] E. Charabot et G. Laloue, **1**, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 939; **2**, 1904, t. CXXXVIII, p. 1513.

tité d'alcool combiné et celle d'alcool total s'accroît; en d'autres termes, à en juger par ce qui se passe dans les autres parties de la plante et par la composition de l'essence reçue par la fleur, l'*éthérification se continue.* La proportion de géraniol augmente et celle de linalol diminue, si bien que le mélange alcoolique s'enrichit en géraniol.

Entre l'huile essentielle extraite des pétales et celle provenant des autres organes floraux, on n'observe pas, après l'épanouissement des fleurs, des différences de composition bien sensibles; toutefois, la première est un peu plus riche en anthranilate de méthyle que la seconde.

Il convient de remarquer que, chez la fleur, le rapport entre l'alcool combiné et l'alcool total est sensiblement plus faible que chez la feuille et que chez la tige.

En suivant l'essence jusque dans le fruit, on rencontre finalement dans cette matière une proportion notable de terpènes. Donc, dans l'écorce verte du fruit, les alcools ont continué de se déshydrater.

Ainsi se précise la nature des phénomènes chimiques qui, particulièrement dans les organes chlorophylliens, modifient les composés terpéniques. Ces phénomènes réalisent, par voie de déshydratation, le passage de l'alcool à ses éthers composés et, finalement, aux terpènes. En même temps, sous l'influence des acides végétaux, se produisent des isomérisations identiques à celles que l'on observe dans le ballon du chimiste. Puis l'oxydation de l'alcool conduit à l'aldéhyde correspondante, s'il s'agit d'un alcool primaire. Il est logique de penser que cette dernière réaction se pro-

duira particulièrement dans les organes et aux époques de la vie où l'oxygène sera fixé avec le plus d'intensité dans la cellule végétale. Nous vérifierons plus loin cette manière de voir.

BASILIC

L'essence de Basilic du Midi de la France renferme : 1° des composés terpéniques, en particulier du *linalol*, $C^{10}H^{18}O$, et ses éthers, ainsi que du *cinéol* (eucalyptol), $C^{10}H^{18}O$, composés qui ne sont pas sans relations de parenté : on sait, en effet, que le linalol peut se convertir en terpinéol, d'où l'on peut passer au cinéol; 2° un composé non-terpénique qui est un éther de phénol, l'*estragol*, sans relation apparente avec les précédents. L'étude de ce cas, effectuée par MM. Charabot et Laloue[1], présentait donc un intérêt particulier.

La plante a été examinée à quatre époques différentes de son évolution, et l'huile essentielle a été extraite d'une façon complète, c'est-à-dire en ne se bornant pas à recueillir la portion qui, lors de la distillation, se sépare des eaux, mais bien en extrayant au surplus la portion qui demeure en dissolution dans ces eaux.

Ici, l'un des principes, l'estragol, paraît, avons-nous dit, ne présenter aucune relation d'origine avec les autres constituants de l'essence ; il y aura donc lieu de raisonner sur la composition de la portion terpénique, et non sur celle de l'huile essentielle elle-même.

[1] E. Charabot et G. Laloue, **1**, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 585; **2**, t. CXL, p. 667.

Lorsque commence la floraison, la proportion de linalol diminue sensiblement dans la partie terpénique, alors qu'augmente, en conséquence, la proportion des autres composés terpéniques, parmi lesquels le cinéol (eucalyptol) tient une place importante.

On se souvient (voir p. 209) qu'il s'est formé entre les deux premiers stades considérés une quantité appréciable de tous les constituants dosés; c'est donc là une période de production de substances aromatiques. Nous nous trouvons en présence d'une matière A (le linalol) et d'une matière B (ensemble des composés terpéniques autres que le linalol et formé notamment de cinéol). L'une de ces matières, cela est infiniment probable, engendre l'autre; en d'autres termes, la matière qui prend naissance en premier ne subsiste pas en totalité, elle se transforme partiellement en donnant naissance à l'autre qui, elle, ne disparaît pas, puisque nous envisageons une période de production et non de consommation. Il en résulte que le produit qui prend naissance en premier pourra augmenter en quantité absolue; mais si la proportion de l'un des deux diminue, il faudrait un bien extraordinaire concours de circonstances pour que ce ne fût pas celle de la matière initiale. Dans le cas actuel, quel est celui des deux produits dont la proportion diminue? C'est la matière A, le linalol, tandis que la proportion de la matière B augmente durant cette période de production qui correspond au début de la floraison.

Le linalol paraît donc prendre naissance tout d'abord, pour se modifier et engendrer, en particulier, le cinéol. Nous verrons si les autres faits observés cadrent avec cette manière de voir.

Remarquons en passant que, au début de la floraison, le mélange terpénique des inflorescences est notablement plus riche en linalol que celui des organes verts. Mais ce sera le contraire que l'on observera plus tard, quand la floraison sera plus avancée. Les produits terpéniques autres que le linalol se seront alors accumulés dans les inflorescences. De l'essence se sera formée; cela résulte des observations relatées dans le précédent chapitre (p. 206). Cette formation aura eu pour siège les organes verts, puisque c'est dans ces organes que prend naissance l'huile essentielle. Donc l'essence qui, dans l'appareil chlorophyllien, aura remplacé partiellement celle qui se sera rendue dans l'inflorescence, aura des tendances à s'enrichir en linalol, si le linalol est bien le produit formé en premier. *La portion terpénique de cette essence arrivera effectivement à contenir près de 92 °/₀ de ce corps.*

Durant cette période, toutefois, le poids absolu des composés terpéniques autres que le linalol a diminué. Cela peut s'expliquer par une consommation partielle des produits odorants au moment où commencent de s'accomplir les fonctions de la fleur, consommation qui est compensée surabondamment par la formation d'une essence nouvelle.

Examinons maintenant la dernière période de la vie végétale, période de consommation, avons-nous vu dans le chapitre précédent.

La portion terpénique s'est enrichie en composés terpéniques autres que le linalol, et leur poids absolu s'est accrû. Ces composés sont retournés en partie aux organes verts. La période de formation active du linalol étant achevée et ce corps ayant continué de se méta-

morphoser, on voit diminuer sensiblement, non seulement sa proportion dans l'essence terpénique, mais encore son poids absolu dans la plante.

En résumé, les résultats de cette étude tendent à montrer que le linalol se forme en premier dans le Basilic, pour se métamorphoser ensuite en donnant, entre autres produits, du cinéol.

2. — Les composés du groupe du géraniol dans les végétaux.

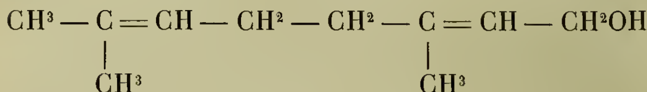
Dans ce qui précède, nous avons étudié des phénomènes de déshydratation grâce auxquels le linalol peut être transformé, chez la plante, partie en ses éthers, partie en hydrocarbures terpéniques. Nous avons montré aussi que le même alcool peut, par simple isomérisation se produisant sous l'influence des acides, se convertir en géraniol, nérol, terpinéol, en même temps que s'effectue l'éthérification.

Le géraniol formé est susceptible de s'oxyder pour engendrer l'aldéhyde correspondante; autrement dit, le citral. Enfin nous avons signalé un exemple dans lequel le linalol paraît se convertir en cinéol, peut-être en passant par l'intermédiaire du terpinéol.

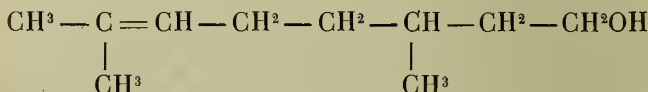
Il y a lieu de pousser plus loin les observations dans une voie parallèle, et, pour cela, nous allons examiner les transformations qui s'opèrent dans le Géranium (*Pelargonium odoratissimum* Willd.).

GÉRANIUM

Deux alcools notamment sont contenus, partie à l'état libre, partie à l'état combiné, dans l'essence de Géranium : le *géraniol*,



et le *rhodinol*,



qui, on le voit, est le dérivé dihydrogéné du précédent.

On y trouve en même temps un peu de *linalol* gauche, ainsi qu'une cétone, la *menthone*, et une aldéhyde, le *citral*.

Le citral correspond au géraniol. Quant à la menthone, elle ne correspond immédiatement à aucun des alcools du Géranium ; mais, ainsi que l'ont établi d'une part MM. Barbier et Bouveault, d'autre part M. Bouveault, le rhodinol donne par oxydation une aldéhyde, le rhodinal, qui se convertit spontanément en menthone.

M. Charabot[1] a étudié l'essence de Géranium à deux époques différentes de la végétation. Dans cette étude, il a analysé uniquement la portion de l'essence qui se

[1] E. Charabot, **3**, 1900, 3e série, t. XXIII, p. 922; **4**, 1900, t. CXXXI, p. 806.

sépare par décantation d'avec les eaux recueillies au cours de la distillation avec la vapeur.

Il résulte des données fournies par l'analyse : 1° que *l'acidité va en diminuant pendant la maturation de la plante ;* 2° que *la proportion d'éther augmente, ainsi que le rapport d'éthérification ;* 3° que *la proportion d'alcool total augmente légèrement.*

D'autre part, il a pu être établi, non par des analyses précises, mais par des examens comparatifs, que la menthone prend naissance principalement à l'approche de la floraison.

Tirons de ces faits les conclusions qu'ils comportent :

A mesure que la plante mûrit, les acides se combinent aux alcools pour augmenter la proportion d'éther.

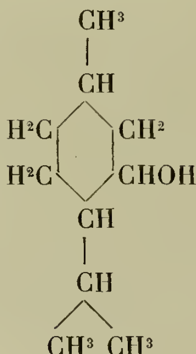
Les alcools, soit libres, soit combinés, sont partiellement convertis, par voie d'oxydation, le géraniol en citral, le rhodinol en rhodinal, qui s'isomérise spontanément en donnant naissance à la menthone.

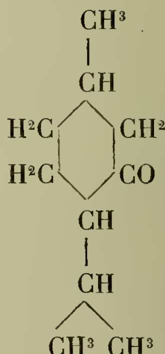
Nous remarquerons, au surplus, que le géraniol et le rhodinol, alcools primaires, n'ont pas été détruits par déshydratation, comme cela s'est produit dans le cas du linalol, alcool tertiaire qui perd si aisément les éléments de l'eau.

L'étude qui va suivre va nous permettre de préciser davantage la question de la transformation des alcools terpéniques par voie d'oxydation, ainsi que le rôle des principaux organes de la plante au point de vue des métamorphoses chimiques qui s'y opèrent.

3. — Les composés du groupe du menthol dans la plante.

Nous savons, pour l'avoir vu dans ce qui précède, que le *menthol* est un alcool secondaire, $C^{10}H^{20}O$, que l'on rencontre dans l'essence de Menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) à côté de la *menthone*, cétone correspondante, $C^{10}H^{18}O$, qu'il fournit d'ailleurs par oxydation. Les formules de constitution respectives de ces deux composés sont les suivantes :





Pour l'étude des modifications subies, chez la plante, par les composés appartenant à ce groupe, M. E. Charabot[1] a fait une série d'expériences sur la Menthe poivrée, et les résultats qu'il a obtenus ont été confirmés par des observations plus récentes.

[1] E. Charabot, **3**, 1900, 3e série, t. XXIII, p. 465; **4**, 1900, t. CXXX, p. 518.

MENTHE POIVRÉE

1re *Série d'expériences.*

Dans une première série d'expériences, la plante a été examinée à trois degrés différents de développement, et, au début de la floraison, l'essence extraite des parties vertes a été comparée à l'essence retirée des inflorescences. Les huiles essentielles ont été extraites par distillation avec la vapeur d'eau, en séparant uniquement la portion qui se décante.

L'observation des variations subies par les composés terpéniques de la Menthe poivrée pendant le développement de la plante, d'une part dans l'appareil chlorophyllien, d'autre part dans les inflorescences, conduit à des résultats significatifs.

Au début de la végétation, l'essence est riche en menthol, mais une faible proportion de cet alcool se trouve à l'état combiné; la menthone n'y existe encore qu'en faible quantité relative. Toutefois, au fur et à mesure que les parties vertes se développent, la proportion d'alcool combiné augmente, comme nous l'avons déjà indiqué pour d'autres alcools. *Cet enrichissement de l'essence en éther ne se manifeste, en réalité, que dans les organes chlorophylliens, et l'huile essentielle extraite des inflorescences ne renferme que de faibles proportions de menthol combiné. La proportion de menthone, très faible avant la floraison, augmente pendant le développement des inflorescences, en même temps que diminue la richesse en menthol total.*

2e *Série d'expériences.*

On a comparé les résultats fournis par l'analyse d'essences : 1° au début de la floraison, 2° au moment de la pleine floraison, 3° à une époque de floraison avancée, 4° à la fin de la végétation après la chute des pétales, et constaté que les faits énoncés se trouvent pleinement contrôlés. De plus, à la fin de la végétation, la proportion de menthone dans l'essence diminue, contrairement à ce qui avait eu lieu précédemment. Ce fait peut être attribué à une consommation notable au moment où s'est accompli le travail de la fécondation ou de la formation des réserves.

Les résultats que nous avons énoncés peuvent être ainsi interprétés : *L'éthérification du menthol paraît avoir pour principal siège les parties vertes de la plante, tandis que la menthone prend naissance plus spécialement dans l'inflorescence, par oxydation de l'alcool correspondant.* Cette dernière conclusion concorde parfaitement avec les intéressantes observations physiologiques de M. Curtel[1], à savoir : au fur et à mesure du développement de la fleur, les fonctions de la feuille disparaissent en elle, l'assimilation s'affaiblit ou s'annule, la transpiration devient moindre, les réactions intérieures changent de nature, l'énergie des oxydations internes se manifeste.

Mais nous avons, dans le chapitre précédent, apporté des faits qui démontrent la circulation des produits odorants de la feuille vers l'inflorescence, par diffu-

[1] Curtel, 1899, 8e série, t. VI, p. 221.

sion d'une portion relativement soluble de l'essence. La composition de l'huile essentielle contenue dans un organe peut donc être modifiée, non pas seulement par les réactions chimiques qu'y subissent ses constituants, mais encore par l'apport qui lui est fait ou par la distribution à laquelle elle participe. Il convient donc, pour appuyer les conclusions que nous avons indiquées, de déduire d'autres faits le rôle de l'appareil chlorophyllien en ce qui concerne l'éthérification des alcools et celui de la fleur en ce qui concerne la transformation de ces corps en aldéhydes ou en cétones par voie d'oxydation. Un fait d'ordre tératologique, et déjà mentionné dans ce qui précède, a fourni à M. Charabot cette justification. Nous voulons parler de la modification que subit la Menthe poivrée sous l'influence d'une piqûre d'insecte. Reprenons donc l'étude de cette question.

MODIFICATIONS BIOCHIMIQUES DUES AU PARASITISME CHEZ LA MENTHE POIVRÉE

On trouvera formulés, p. 45, les résultats de l'analyse de l'essence extraite de plantes saines, et ceux de l'analyse de l'essence extraite de sujets modifiés. Nous ajouterons, à ce propos, que chez la plante malade le rapport d'éthérification du menthol est très élevé, beaucoup plus élevé que chez la plante saine. De plus, l'huile essentielle de la Menthe dite basiliquée ne renferme que des traces de menthone. Ces faits, rapprochés de ceux relatifs à la vigueur et au développement exceptionnels des organes verts chez la plante modifiée, ainsi qu'à l'atrophie des organes de

reproduction chez cette plante, mettront en évidence le rôle de l'appareil chlorophyllien dans l'éthérification et celui de la fleur dans la métamorphose des alcools par voie d'oxydation.

En résumé, sous l'influence du parasitisme, les fleurs ont disparu, l'énergie des oxydations internes a été réduite d'autant, si bien que la transformation du menthol en menthone ne s'est produite que dans une moindre proportion. Par contre, les organes verts ont acquis un développement considérable, l'éthérification est devenue très active. Effectivement les rapports

$$\frac{\text{Menthol combiné}}{\text{Menthol total}} \quad \text{et} \quad \frac{\text{Acide volatil combiné}}{\text{Acide volatil total}},$$

sont respectivement $\frac{46}{100}$ et $\frac{80}{100}$ pour la Menthe basiliquée au lieu de $\frac{30}{100}$ et $\frac{57}{100}$ pour la Menthe saine.

Pour établir d'une façon bien rigoureuse que l'éthérification est réellement plus active chez la Menthe modifiée, il été nécessaire d'élucider le point que voici :

La Menthe renferme, à l'état de combinaison avec le menthol, deux acides : l'acide acétique et l'acide valérianique. Le premier s'éthérifiant plus facilement que le second, toute condition favorable à la formation de l'acide acétique au détriment de l'acide valérianique doit aussi se montrer favorable à l'éthérification. Y a-t-il lieu, dans le cas de la Menthe modifiée, d'envisager la plante comme réellement mieux organisée pour l'éthérification par suite du plus grand développement des parties vertes, ou bien le fait d'une éthérification

plus intense est-il dû uniquement à la formation d'une proportion plus abondante d'acide acétique et relativement moindre d'acide valérianique?

Pour répondre à cette question, M. Charabot a étudié comparativement les acides combinés au menthol dans les deux cas. Voici les résultats qu'il a obtenus : dans l'essence de Menthe normale, pour 100 gr. du mélange d'acide on trouve 62,6 d'acide valérianique et 37,4 d'acide acétique. Parmi les acides de l'essence basiliquée au contraire, il y a 60,8 % d'acide valérianique et 49,2 d'acide acétique. Donc, le mélange des acides combinés est moins riche en acide valérianique dans la Menthe basiliquée que dans la Menthe saine. Il convient, dès lors, de voir si cette différence de composition, qui dans le cas de la Menthe basiliquée doit se montrer favorable à l'éthérification, est suffisante pour expliquer la formation si active des éthers dans ce cas, ou bien si, réellement, l'organisation chlorophyllienne de la plante joue le rôle présumé.

Soit e la proportion d'éther qui se formerait *chez le produit normal,* si la totalité de l'acide était l'acide acétique. Soit e' la proportion correspondante *chez le produit modifié.* Il s'agit de démontrer que la proportion plus notable d'éther dans l'essence des plantes modifiées n'est pas due uniquement au fait que la proportion d'acide acétique par rapport à celle d'acide valérianique y est plus élevée. Si nous démontrons que l'on a $e' > e$, même en supposant que l'acide valérianique ne s'éthérifie pas du tout dans les deux cas, nous aurons démontré *a fortiori* que l'activité de l'éthérification est plus grande dans le cas de la Menthe basiliquée que dans le cas de la Menthe normale.

En laissant de côté les quantités indiquées, on trouverait :

$$e \times \frac{54,4}{100} = 18,6$$

(teneur en éther du produit normal).

$$e' \times \frac{62,2}{100} = 24,7$$

(teneur en éther du produit basiliqué);
D'où :

$$e = 36,9$$

$$e' = 39,7$$

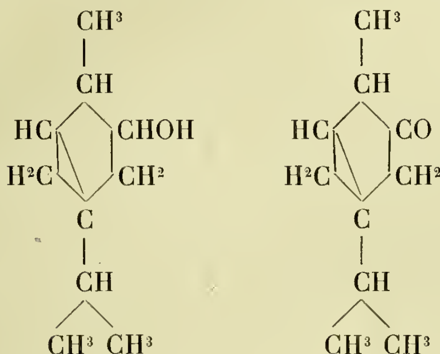
$e' > e$; donc, même avec une proportion d'acide acétique moindre, l'éthérification se poursuit avec plus d'activité dans la Menthe modifiée par une piqûre d'insecte que dans la Menthe saine.

L'activité de la formation des éthers dans la Menthe basiliquée est par conséquent bien en relation avec le développement considérable qu'y ont pris les organes chlorophylliens.

4. — Les composés du groupe du thuyol dans la plante.

De même que l'essence de Menthe renferme du menthol, des éthers du menthol et la cétone correspondante, de même on trouve dans l'essence d'Absinthe (*Artemisia Absynthium* L.) un alcool secondaire, le *thuyol*, des *éthers du thuyol* et une cétone, la *thuyone*, qui peut s'obtenir par oxydation du thuyol. Les for-

mules de constitution le plus fréquemment admises pour le thuyol et la thuyone sont les suivantes :



Étudier les modifications de l'essence d'Absinthe au fur et à mesure de la végétation sera réunir les éléments de généralisation des conclusions formulées dans ce qui précède et, en particulier, au sujet des composés de la série du menthol.

ABSINTHE

Au cours de leurs recherches sur la formation et la circulation des composés odorants, MM. E. Charabot et G. Laloue[1] ont été amenés à faire connaître la composition des essences contenues, à différentes époques, dans les divers organes de la plante. En outre, ils ont poursuivi leur étude sur des huiles essentielles obtenues

[1] E. Charabot et G. Laloue, 1, 1907, 1re série, t. I, p. 483; 2, 1907, t. CXLIV, p. 435.

en distillant la plante avec la vapeur et extrayant la totalité des produits odorants, c'est-à-dire en ayant soin d'épuiser les eaux de distillation.

Dès le début de la végétation, avant que l'influence de la floraison ne se soit manifestée, on trouve dans les organes chlorophylliens une essence déjà riche en éthers du thuyol, et l'on est par contre frappé de la faible teneur de cette essence en thuyone.

Examinant l'huile essentielle contenue dans la totalité de la plante. on observe que le rapport d'éthérification y croît jusqu'à la floraison pour décroître ensuite, jusqu'au moment où, une nouvelle poussée se produisant, une éthérification plus active coïncidera avec l'apparition et le développement d'organes verts vigoureux. Constamment l'on verra la proportion de thuyol total diminuer pendant l'évolution continue de la plante; mais cette proportion augmentera finalement lors du rajeunissement résultant de la formation de nouvelles tiges. Enfin la teneur de l'essence en thuyone augmentera sensiblement lors de la floraison, pour diminuer ensuite dans les inflorescences, organes de consommation.

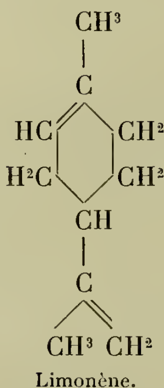
Ces observations conduisent à penser que, ici encore, l'alcool a pris naissance en premier, qu'il s'est ensuite éthérifié et oxydé, enfin que l'éthérification a été particulièrement active dans les organes verts. Quant à l'oxydation, elle s'est manifestée avec une intensité toute particulière au moment de la floraison.

Les recherches qui précèdent ont montré le rôle de la floraison dans la formation des cétones terpéniques. Ce rôle se manifeste encore ici, en ce sens que la proportion de thuyone était insignifiante avant l'apparition des inflorescences et qu'elle est devenue ensuite bien

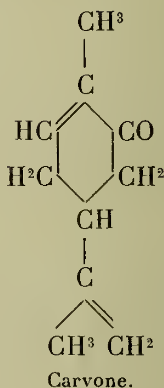
supérieure. Mais, tandis qu'en étudiant la Menthe poivrée il a été trouvé que la menthone s'accumulait dans l'essence d'inflorescences, tandis que c'est l'essence d'inflorescences, qui, chez la Verveine, renferme le plus de citral, on constate ici la présence dans l'essence de feuilles d'Absinthe d'une proportion de thuyone supérieure à celle trouvée dans l'essence d'inflorescences. Il est probable que la thuyone, comme d'ailleurs les autres cétones ou aldéhydes, est détruite par oxydation dans l'inflorescence, où une quantité importante d'huile essentielle est effectivement consommée. De plus, tandis que le citral, par exemple, est un des principes les plus solubles de l'essence de Verveine, la thuyone est, au contraire, un des constituants les moins solubles de l'essence d'Absinthe. Aussi conçoit-on que la proportion de cette cétone puisse augmenter dans l'essence de feuilles lorsque les composés terpéniques circulent depuis ces organes jusqu'aux inflorescences, où les produits arrivent dans des proportions d'autant plus faibles qu'ils sont moins solubles. En résumé, la circulation d'une portion relativement soluble de l'essence a pour effet l'accumulation, dans la feuille, de la petite quantité de thuyone qui se forme dans cet organe. La consommation des matières odorantes pendant la fécondation tend à réduire, au contraire, dans l'essence d'inflorescences la proportion de la thuyone, substance qui se trouve, d'ailleurs, constamment diluée par suite de l'arrivée d'une fraction relativement soluble et par conséquent riche en thuyol.

A l'appui de la thèse que la formation des aldéhydes et des cétones est favorisée par le fonctionnement des organes chez lesquels l'oxygène est fixé

énergiquement, nous citerons l'observation que voici relative à l'huile essentielle de Carvi (*Carum carvi* L.)[1]. Cette essence renferme notamment : un terpène, le *limonène droit*, $C^{10}H^{16}$; un alcool, le *dihyodrocarvéol*, $C^{10}H^{18}O$; deux cétones : la *carvone droite*, $C^{10}H^{14}O$, et la *dihydrocarvone*, $C^{10}H^{16}O$. Le limonène et la carvone sont les deux constituants les plus abondants, et cette dernière peut aisément s'obtenir en partant du premier corps :



Limonène.



Carvone.

Une huile essentielle extraite des parties vertes de la plante ne renfermait ni limonène ni carvone ; une essence provenant de plantes en fleurs contenait des proportions notables de limonène et déjà une certaine quantité de carvone ; enfin, dans une huile essentielle extraite de plantes à un stade ultérieur de leur évolution, c'était la carvone qui dominait.

[1] Gildemeister et Hoffmann, p. 675.

Le partage des produits odorants chez la plante.

Les données qui précèdent montrent que des causes différentes, indépendantes et souvent d'effets opposés, sont susceptibles de présider au partage des produits odorants entre les divers organes de la plante et de favoriser leur accumulation en tel ou tel point du végétal.

Il a été établi, en effet, que les produits d'oxydation des alcools (aldéhydes ou cétones) se forment tout particulièrement dans les organes, tels que l'inflorescence, où l'oxygène est fixé par les tissus avec le plus d'activité. Il semble donc, comme conséquence de ce mécanisme biochimique, que ce soit chez l'inflorescence que l'huile essentielle doive présenter la teneur la plus élevée en principes aldéhydiques ou cétoniques. Mais, d'autre part, on a vu qu'il y a circulation des composés odorants depuis les parties vertes, organes de production, jusqu'aux inflorescences, organes de consommation, et que ce sont des portions relativement solubles qui cheminent à travers la plante. Il en résulte que ce phénomène de circulation et celui qui préside aux transformations chimiques modifiant la composition des huiles essentielles, ajoutent leurs effets lorsque les aldhéhydes ou les cétones considérées sont des constituants relativement solubles. Dans ce cas, l'essence d'inflorescences sera sensiblement plus riche en principes aldéhydiques que l'essence de feuilles. C'est ce qu'on a constaté dans le cas de la Verveine, où le citral doit être compris parmi les constituants les plus solubles de l'essence, en ce sens que

la portion extraite des eaux de distillation est plus riche en citral que la portion qui se décante. L'essence d'inflorescences contient effectivement une proportion de citral sensiblement plus élevée que l'essence extraite des organes chlorophylliens.

Si, au contraire, la portion aldéhydique ou cétonique de l'huile essentielle est relativement peu soluble, les effets du phémonène de circulation sur la composition des essences des divers organes seront inverses de ceux que produiront les modifications chimiques qui s'accomplissent dans l'inflorescence, puisque ce sont principalement les principes les plus solubles qui se déplacent. Le premier phénomène tendra à enrichir l'essence de feuilles en aldéhyde ou cétone et au contraire à enrichir l'essence d'inflorescences en principes alcooliques, tandis que le second phénomène aura pour effet d'augmenter la teneur de ce dernier organe en principes aldéhydiques ou cétoniques.

Quel est alors, de ces deux phénomènes à effets inverses, celui qui prédominera? Nous venons de voir que, chez l'Absinthe, la thuyone est au nombre des constituants les moins solubles, et c'est pourquoi, malgré la tendance que possède le thuyol à se convertir en thuyone dans l'inflorescence par voie d'oxydation, on a constaté que l'essence de feuilles était plus riche que l'essence d'inflorescences en principe cétonique. Cette différence, avons-nous vu, est due non seulement à la faible solubilité de la thuyone, mais aussi au fait que dans l'inflorescence il y a consommation de produits odorants et que cette consommation porte principalement sur les produits partiellement oxydés, c'est-à-dire en voie de dégradation.

En est-il toujours ainsi? En d'autres termes, le phénomène de répartition des corps d'après leur solubilité relative masque-t-il toujours entièrement, par sa prééminence, l'influence qu'exercent sur cette répartition les modifications chimiques que subit la matière? S'il en était ainsi, les résultats de l'étude de ces modifications chimiques deviendraient obscurs et leurs déductions incertaines. Mais l'examen du cas particulier que nous allons envisager ici montrera qu'il n'en est rien et établira que la nature des transformations chimiques qui s'opèrent dans tel ou tel organe peut avoir une influence prédominante sur la répartition des composés odorants. Le cas auquel nous venons de faire allusion est celui de la Menthe poivrée, et la question a été étudiée par MM. Charabot et Laloue (note inédite). Ces chimistes ont comparé la composition de l'essence qui, au cours de la distillation, ne se dissout pas dans l'eau, à la composition de l'essence dissoute.

La première est plus riche en éther, moins riche en menthol libre et en menthol total, plus riche en menthone que la seconde. En d'autres termes, les principes relativement peu solubles sont les éthers et la menthone, tandis que le menthol est particulièrement soluble.

Or nous avons vu que l'essence d'inflorescences est plus riche que l'essence de feuilles en menthone, principe cétonique. Et c'est malgré une circulation de menthol, principe soluble, de la feuille vers l'inflorescence, que ce dernier organe renferme une essence particulièrement riche en menthone. Il faut donc bien que le menthol s'y soit converti en menthone par voie

d'oxydation. Ainsi se trouve confirmé une fois de plus le mécanisme qui, d'après M. Charabot, préside à la métamorphose des composés terpéniques chez la plante.

Les différences de composition entre les deux essences examinées montrent bien, si on le compare à celles qui existent entre les essences de feuilles et d'inflorescences, que le partage des principes odorants entre la feuille, organe de production, et la fleur, organe de consommation, tend à se faire d'après leur solubilité relative. Mais cette tendance peut être entravée ; elle peut, par contre, être favorisée par les métamorphoses chimiques que subissent les substances en tel ou tel point de leur itinéraire ou en tel ou tel de leurs centres d'accumulation. C'est ainsi que, dans le cas présent, quelques-uns des principes les moins solubles, les éthers du menthol, sont plus abondants dans l'essence de feuilles, tandis qu'un autre, la menthone, enrichit l'essence d'un organe où vont cependant les portions les plus solubles. C'est que cet organe constitue le milieu dans lequel la formation de ce principe est particulièrement active.

En ne bornant point les études à l'examen d'huiles essentielles renfermant des principes dérivant les uns des autres, les conclusions formulées en ce qui concerne les phénomènes de circulation de la feuille vers l'inflorescence ont échappé aux incertitudes qui auraient pu résulter du fait des réactions biochimiques qui réalisent, en tel ou tel point, la transformation d'un constituant en un autre. Et inversement, l'étude qui vient d'être décrite met les conclusions relatives à l'évolution des composés odorants à l'abri des objections

qu'aurait pu soulever le fait de l'échange de ces principes entre les différents organes.

En résumé, les résultats que nous venons d'indiquer, et leurs déductions, précisent les mécanismes déjà décrits et montrent, en même temps que leur concordance avec les faits d'observation, quels peuvent être les effets de leur fonctionnement simultané.

Conclusions.

Les diverses études dont nous venons de faire connaître les résultats principaux et de dégager les conclusions générales ont fait connaître un certain nombre de réactions auxquelles sont soumis, dans l'organisme végétal, les composés terpéniques. Ces réactions forment deux groupes bien distincts par leur nature même et par les fonctions physiologiques auxquelles elles paraissent correspondre :

Les éthers composés prennent naissance d'une façon particulièrement active dans les parties vertes des végétaux, c'est-à-dire dans le milieu chlorophyllien, par action des acides sur les alcools ; si bien que les premières transformations subies par les alcools terpéniques sont dues à des *phénomènes de déshydratation*. Lorsque l'alcool est susceptible de perdre aisément les éléments de l'eau, il donne naissance en même temps à l'hydrocarbure correspondant ; c'est ce qui a lieu pour le linalol, $C^{10}H^{17}OH$, dont une partie s'éthérifie et une partie se déshydrate en fournissant des terpènes, $C^{10}H^{16}$.

Des *phénomènes d'isomérisation* concourent aussi à la métamorphose de la matière odorante. L'alcool que

nous venons de citer, le linalol, sous l'influence des acides, s'éthérifie et se déshydrate; il s'isomérise au surplus en donnant naissance à deux alcools primaires, le géraniol et le nérol, stéréo-isomères, et à un alcool tertiaire, le terpinéol. Ces transformations se produisent aussi bien chez la plante que *in vitro*.

Par un mécanisme plus compliqué, le linalol peut aussi se convertir en cinéol, probablement en passant par l'intermédiaire du terpinéol.

Les alcools et leurs éthers se convertissent activement, *par oxydation*, en aldéhydes ou en cétones, notamment lorsque apparaissent les inflorescences, organes chez lesquels la fixation d'oxygène par les tissus est particulièrement intense.

Ces phénomènes chimiques étant mis en lumière, nous allons exposer les résultats de recherches instituées en vue de découvrir les influences qui les régissent, de saisir les liens étroits qui les relient aux fonctions physiologiques de la plante.

Mécanisme de l'évolution des composés terpéniques.

Nous étudierons : 1° le mécanisme de l'éthérification chez les plantes; 2° le rôle de la fonction chlorophyllienne dans la formation des éthers; 3° l'influence de la nature du milieu extérieur sur quelques phénomènes de synthèse végétale et plus particulièrement sur la formation des composés terpéniques, sur l'éthérification d'un alcool et sa transformation en cétone correspondante[1].

[1] E. Charabot et A. Hébert, 1, 1904, 8e série, t. I, p. 362.

Mécanisme de l'éthérification chez les plantes.

La nature des réactions chimiques qui, au sein même de la plante, donnent naissance aux éthers étant connue, MM. Charabot et Hébert[1] ont voulu remonter aux causes qui provoquent ces phénomènes. Une question s'est posée tout d'abord : L'éthérification des alcools terpéniques s'opère-t-elle, dans l'organisme végétal, par action pure et simple des acides sur les alcools, ou bien y est-elle favorisée par le concours d'un agent particulier jouant le rôle de déshydratant? Nous allons aborder cette question.

INTERVENTION CHEZ LES PLANTES D'UN AGENT FAVORISANT L'ÉTHÉRIFICATION

Pour rendre manifeste le rôle d'un agent favorisant la formation des éthers, MM. Charabot et Hébert ont établi que, par action pure et simple des acides sur les alcools terpéniques, l'éthérification est moins complète que chez la plante. Nous nous bornerons, pour démontrer cela, à indiquer les résultats très significatifs concernant le linalol, alcool très répandu dans les huiles essentielles.

Dans le but de favoriser l'éthérification de l'alcool, les auteurs ont employé six molécules d'acide acétique pour une molécule de linalol. Le mélange a été abandonné à lui-même à la température du laboratoire

[1] E. Charabot et A. Hébert, 2, 1901, 3e série, t. XXV, p. 884 et 955; 3, 1901, t. CXXXIII, p. 390.

(20° environ). Les résultats ont montré, de la façon la plus nette, que sous l'action pure et simple de l'acide acétique *le linalol ne s'éthérifie qu'avec une extrême lenteur*. Tandis que, par exemple, dans la Lavande, le rapport entre la proportion d'alcool combiné et celle d'alcool total a augmenté de plus de $\frac{8}{100}$ dans l'espace de 15 jours, pendant le développement de la plante; dans les expériences que nous relaterons, l'accroissement de la valeur de ce rapport dans l'espace de 24 jours n'a pas dépassé $\frac{1}{100}$, encore que les auteurs se soient placés dans des conditions très favorables à l'éthérification et qu'ils aient suivi la marche du phénomène tout à fait au début, c'est-à-dire au moment où l'augmentation est le plus sensible. En outre, au bout d'un an, la proportion d'éther formée n'a atteint que 5,3 %.

Cette expérience suffit pour montrer que, *chez la plante, l'éthérification est rendue plus active par un agent auxiliaire*.

CONSIDÉRATIONS SUR LA NATURE DE L'AGENT FAVORISANT L'ÉTHÉRIFICATION CHEZ LES PLANTES

Ainsi, en faisant agir uniquement l'acide acétique sur le linalol, on n'obtient, même au bout d'un temps très long, qu'une faible proportion d'éther, proportion très inférieure à celle que l'on a trouvée dans les huiles essentielles. Nous allons constater maintenant que la proportion d'alcool éthérifié, au moment où l'équilibre

est atteint, peut devenir voisine de la valeur qu'elle acquiert dans la plante, si l'on a soin de faire intervenir un agent, l'acide sulfurique, susceptible de favoriser la déshydratation. Les expériences dont nous résumerons les principaux résultats confirment le fait de la formation des éthers chez les plantes par action des acides sur les alcools. Elles établissent, en effet : 1° que les alcools terpéniques qui, sous l'influence d'un acide déterminé, s'éthérifient le plus facilement sont aussi ceux dont les végétaux renferment la plus grande proportion à l'état combiné avec le même acide; 2° que, pour un même alcool terpénique, l'acide se combinant le plus facilement avec cet alcool est celui dont l'éther est le plus abondant chez la plante.

Dans toutes les expériences dont nous allons donner le compte rendu résumé, l'éthérification a été effectuée en abandonnant à lui-même un mélange d'une molécule d'alcool terpénique et de six molécules d'acide organique additionnées de $\frac{1}{20}$ de molécule d'acide sulfurique concentré. On a opéré à 0°, pour réduire l'action isomérisante de l'acide sulfurique.

Éthérification du géraniol, du linalol et du menthol au moyen de l'acide acétique. — Avec le *géraniol,* $C^{10}H^{17}OH$, lorsque l'équilibre est atteint, au bout de 12 heures, une partie de géraniol s'est déshydratée, et la proportion d'éther est de 63,7 %; le rapport

$$\frac{\text{géraniol combiné}}{\text{géraniol total}} = \frac{67}{100}.$$

Il est intéressant de rapprocher, dès à présent, cette valeur de celle, $\frac{81}{100}$, du rapport qui existe entre les

mêmes quantités dans l'*Eucalyptus Macarthuri* D. et M.[1].

Le *linalol*, alcool tertiaire, $C^{10}H^{17}OH$, se trouve partie à l'état libre, partie à l'état d'éther acétique, à côté d'alcools isomériques et de leurs éthers, dans un assez grand nombre de plantes.

Les valeurs que peut atteindre, dans les végétaux renfermant du linalol et son éther acétique, le rapport $\frac{\text{alcool combiné}}{\text{alcool total}}$ sont voisines de $\frac{65}{100}$. Elles sont donc inférieures à celle, $\frac{81}{100}$, que peut atteindre le rapport $\frac{\text{géraniol combiné}}{\text{géraniol total}}$. Précisément, comme il fallait s'y attendre, la proportion de linalol éthérifiée *in vitro* est moindre que celle de géraniol. Au moment où l'équilibre est atteint, le rapport

$$\frac{\text{alcool combiné}}{\text{alcool total}} = \frac{58}{100}.$$

Dans le cas du *menthol*, $C^{10}H^{19}OH$, on a fait des observations analogues : le rapport $\frac{\text{menthol combiné}}{\text{menthol total}}$ a atteint la limite $\frac{49}{100}$, et on a pu voir précédemment que, chez la plante, ce même rapport peut prendre des valeurs voisines de cette limite.

D'une manière générale, les limites obtenues sont un peu inférieures aux limites correspondantes chez la plante. Dans le cas du menthol, elles sont à peu près les mêmes ; cela provient de ce que, chez la Menthe,

[1] H. G. Smith, t. LXXXIII, p. 5.

on rencontre à l'état d'éthers du menthol, non seulement l'éther acétique, mais encore l'acide valérianique, qui s'éthérifie plus difficilement.

Tous ces résultats concourent à montrer que : 1° si l'on fait intervenir un agent favorisant les déshydratations, les choses se passent sensiblement comme dans les plantes en ce qui concerne les équilibres limitant l'éthérification ; 2° les alcools terpéniques qui, sous l'influence d'un acide déterminé, s'éthérifient le plus facilement, sont aussi ceux dont les végétaux renferment la plus grande proportion à l'état combiné avec le même acide.

Éthérification du géraniol au moyen des acides acétique, propionique et butyrique ; du thuyol au moyen des acides acétique et valérianique. — Lorsque les équilibres ont été atteints, il s'était formé : 63,7 °/₀ d'éther acétique du géraniol, ce qui correspond à 50,1 °/₀ de géraniol combiné ; 56,4 °/₀ de propionate de géranyle (géraniol combiné : 39,3 °/₀) ; 39,2 °/₀ de butyrate de géranyle (géraniol combiné : 26.9 °/₀).

On voit que la proportion de géraniol combiné diminue à mesure que le poids moléculaire de l'acide augmente ; cela permet d'expliquer que la valeur du rapport $\frac{\text{alcool combiné}}{\text{alcool total}}$ ne dépasse guère $\frac{13}{100}$ dans l'essence de Palma rosa (*Andropogon Schœnanthus* Flück. et Hanb.), qui renferme du caproate de géranyle, tandis qu'elle atteint $\frac{81}{100}$ dans l'essence d'*Eucalyptus Macarthuri* D. et M.

Avec le thuyol on a obtenu des résultats analogues.

Agent favorisant l'éthérification. — En somme, l'éthé-

rification s'opère, chez les plantes, par l'action directe des acides sur les alcools ; elle se trouve favorisée par un agent particulier jouant le rôle de déshydratant.

Cela ressort et des recherches sur l'évolution des composés terpéniques exposées dans ce qui précède, et des observations relatées en dernier lieu.

On sait que, parmi les transformations se produisant dans la cellule vivante, un grand nombre ont été attribuées à des interventions diastasiques. En particulier, bon nombre de phénomènes de déshydratation, unissant entre elles des molécules simples pour donner naissance à des molécules plus complexes, s'effectuent dans l'organisme animal grâce à la présence de ferments. De semblables phénomènes paraissent aussi se produire chez les plantes et peuvent être réalisés *in vitro* par des ferments : M. Hill[1] est parvenu à montrer que la maltase est capable de combiner, par élimination d'eau, deux molécules de glucose; ces résultats ont été confirmés par M. Kohl[2] et étendus à l'invertase. M. Emmerling[3] plus récemment a pu, grâce à l'intervention de la maltase, réunir, en leur enlevant deux molécules d'eau, le glucose, l'acide cyanhydrique et l'aldhéhyde benzoïque pour former l'amygdaline. Dans un même ordre d'idées, M. Hanriot[4] d'une part, MM. Kastle et Lœvenhardt[5] d'autre part, ont mis en lumière la réversibilité des actions lipasiques et sont parvenus à montrer que, dans des conditions déter-

[1] F. G. Kohl.
[2] Hill, 1898, t. LXXIII, p. 634.
[3] Emmerling, 1901, t. XXXIV, p. 3810.
[4] Hanriot, 1902, t. CXXXII, p. 146 et 212.
[5] Kastle et Lœvenhardt, 1900, t. XXIV, p. 491.

minées, la lipase est susceptible de favoriser l'éthérification de la glycérine. Des faits analogues ont été signalés par M. Pottevin [1].

Ces considérations, jointes aux résultats exposés ici, ont conduit MM. Charabot et Hébert à formuler l'hypothèse consistant à attribuer à une diastase le pouvoir d'activer l'éthérification chez les plantes.

Rôle de la fonction chlorophyllienne dans la formation des éthers.

L'élimination d'eau, qu'elle ait pour effet de transformer les alcools en éthers ou bien en terpènes, a pour siège principal les parties vertes de la plante ; en d'autres termes, elle se produit notamment dans le milieu soumis à l'action chlorophyllienne.

Ces phénomènes de déshydratation, qui d'une manière générale président à l'union des radicaux organiques avec formation de molécules complexes, sont caractéristiques des milieux assimilateurs. Il y avait donc lieu d'étudier le rôle de la fonction chlorophyllienne dans les phénomènes particuliers de déshydratation dont nous recherchons le mécanisme.

M. Charabot [2] s'est occupé de cette question et a examiné les influences simultanées ou séparées de la lumière, de l'altitude, de l'état hygrométrique, de la température sur la formation des éthers chez la plante.

[1] Pottevin, 1901, t. CXXXVI, p. 1152.
[2] E. Charabot, **3**, 1901, 3e série, t. XXV, p. 259; **4**, 1901, t. CXXXII, 159.

M. GASTON BONNIER[1] a constaté que, sous l'influence du climat de montagne, une plante acquiert un certain nombre de modifications, parmi lesquelles nous signalerons les suivantes : les feuilles sont plus épaisses et d'un vert plus foncé ; les tissus assimilateurs du limbe sont très différenciés et mieux disposés pour la fonction chlorophyllienne ; le tissu palissadique ou chlorophyllien, en effet, est plus développé, soit parce que les cellules sont plus longues et plus étroites, soit parce que le nombre des assises palissadiques est plus considérable ; en outre, les cellules renferment un plus grand nombre de chloroleucites qui sont plus gros et plus verts.

A ces différences anatomiques correspondent, comme on pouvait s'y attendre, d'importantes modifications dans les fonctions physiologiques. M. G. BONNIER a montré, en effet, par des expériences directes, qu'à égalité de surface et dans les mêmes conditions extérieures les feuilles des plantes cultivées dans la région alpine, à l'altitude où elles présentent leur différenciation caractéristique, assimilent toujours plus que celles de l'échantillon de plaine. On voit que, *étant donnée leur structure spéciale, les plantes de montagne sont adaptées à une fonction chlorophyllienne plus intense*.

Il y avait donc lieu de rechercher si à cette fonction chlorophyllienne plus intense correspond la formation d'une proportion plus notable d'éther dans les huiles essentielles des plantes adaptées au climat alpin. Et M. CHARABOT a poursuivi à cet effet sur l'essence de Lavande les recherches dont il a été question au cha-

[1] GASTON BONNIER, 1, 1895, 7e série, t. XX, p. 217.

pitre I de cet ouvrage (p. 30). Nous en rappelons la conclusion : D'une manière générale, la richesse en éther est d'autant plus grande que l'altitude à laquelle la plante a vécu est plus élevée. Donc, *l'altitude influe dans le même sens, d'une part sur la fonction chlorophyllienne, d'autre part sur la formation des éthers.*

Mais l'influence de l'altitude dépend de plusieurs facteurs qui caractérisent le climat de montagne : 1° l'éclairement plus intense ; 2° l'air plus sec ; 3° la température plus basse. Les deux premiers, pris isolément, agissent dans le même sens, tandis que l'influence du froid dans les montagnes paraît contrarier leur action.

Examinons, en particulier, l'influence de l'état hygrométrique sur la fonction chlorophyllienne d'une part, sur l'éthérification des alcools terpéniques d'autre part.

M. Eberhardt [1] a constaté que, par rapport à l'air normal, l'air humide réduit la quantité de chlorophylle contenue dans les feuilles, et que l'air sec provoque un développement plus considérable du tissu en palissade. D'ailleurs, M. G. Bonnier avait montré que, à égalité de surface, la feuille d'une plante qui s'est développée dans un air sec assimile plus que la feuille de la même espèce qui s'est développée dans un air saturé d'humidité. On peut dire que, au point de vue physiologique et au point de vue anatomique, l'air sec agit absolument comme l'éclairement plus grand. Pour mettre en lumière le rôle de l'humidité au point de vue de la formation des éthers, M. Charabot signale les résul-

[1] Eberhardt, 1900, t. CXXXI, p. 163 et 513.

tats de deux séries d'expériences ayant eu pour but : 1° d'établir un parallèle entre la composition d'essences de Lavande récoltées pendant des saisons relativement pluvieuses et celle d'essences de Lavande de mêmes origines, mais récoltées pendant des années de sécheresse ; 2° de comparer une essence de Lavande récoltée aux environs de Paris aux essences de Lavande de montagne. Il arrive à cette conclusion que *l'air sec favorise la formation des éthers en même temps qu'il rend les végétaux plus aptes aux fonctions chlorophylliennes.*

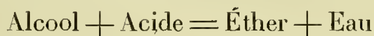
En résumé, *les influences capables de modifier les plantes de façon à les rendre plus aptes aux fonctions chlorophylliennes favorisent en même temps l'éthérification des alcools terpéniques.*

Cette déduction va nous permettre de pousser plus loin l'étude du mécanisme qui préside, chez la plante, aux modifications chimiques dont nous nous sommes occupés.

Influence de la nature du milieu extérieur sur l'évolution des composés terpéniques.

Nous avons vu que l'éthérification, chez la plante, a pour principal siège les parties vertes, c'est-à-dire les milieux chlorophylliens. Il a été établi ensuite que non seulement ces phénomènes de déshydratation s'effectuent le plus activement dans les organes assimilateurs, mais encore que leur intensité est en relation directe avec la puissance de la fonction chlorophyllienne. Ces résultats conduisent tout naturellement à rechercher à l'aide de quel mécanisme la fonction chlorophyllienne exerce son influence sur de semblables phénomènes.

On connaît, entre autres, l'action activante de la lumière solaire directe sur la transpiration. D'autre part, on a vu que les éthers prenaient naissance, chez la plante, par combinaison des acides avec les alcools ; et l'on trouve, en même temps que les produits formés, un excès des substances réagissantes ; en d'autres termes, il existe, dans le végétal, un mélange d'éther composé, d'alcool libre, d'acide et d'eau. Conformément aux idées de Berthelot sur l'éthérification, la réaction :



$$\text{Alcool} + \text{Acide} = \text{Éther} + \text{Eau}$$

doit donc être limitée par la réaction inverse, et l'état d'équilibre dépendre de la proportion d'eau contenue dans le milieu considéré.

C'est par conséquent grâce à son action favorable à l'élimination mécanique de l'eau que la lumière et l'énergie chlorophyllienne, tendant à réduire les proportions d'eau dans les systèmes chimiques qui constituent le contenu cellulaire, doivent contribuer à accentuer les phénomènes de déshydratation et, en particulier, ceux qui ont pour effet la transformation des alcools en éthers.

Dans le but d'éclaircir ce point, MM. Charabot et Hébert[1] se sont proposé de soumettre la plante à des influences susceptibles d'affecter à la fois et les phénomènes chimiques et les phénomènes physiologiques, pensant ainsi arriver à saisir les liens qui existent entre les deux ordres de phénomènes.

[1] E. Charabot et A. Hébert, 2, 1902, 3e série, t. XXVII, p. 204 et 914; 1903, t. XXIX, p. 612, 698, 982 et 1239; 3, 1902, t. CXXXIV, p. 181, 1228; 1903, t. CXXXVI, p. 160, 1009, 1678; 1903, t. CXXXVII, p. 799.

En particulier, l'arrivée de l'eau par les racines et son départ par les organes chlorophylliens sont en relation avec la composition minérale des milieux au contact desquels se trouvent les racines. D'autre part, cette composition est elle-même en relation avec les échanges gazeux qui accompagnent la formation et l'évolution de la matière végétale. Il en résulte que, en modifiant la nature chimique du milieu ambiant, on devait modifier à la fois et la marche des phénomènes chimiques et celle des phénomènes physiologiques, de façon à faire ressortir les liens qui unissent les uns aux autres. Telles sont les considérations qui ont amené les auteurs à soumettre une plante à l'influence de divers sels minéraux, pour observer les variations qu'elle subit au double point de vue que nous venons d'indiquer.

MM. Charabot et Hébert ont expérimenté sur la Menthe poivrée (*Mentha piperita* L.), qui, nous l'avons dit déjà, renferme un alcool terpénique, ses éthers et la cétone correspondante en proportions assez notables pour permettre de saisir les variations susceptibles de se produire. Leurs recherches ont trait à l'étude de l'influence des sels minéraux (chlorures, sulfates, nitrates, phosphate disodique) : 1° sur la marche générale de la végétation ; 2° sur la composition de la plante aux principaux stades de son développement ; 3° sur l'acidité végétale ; 4° sur la formation et l'évolution des composés terpéniques.

Avant d'entreprendre l'exposé des résultats de ces diverses études, il importe de faire connaître les conditions dans lesquelles ont été effectuées les recherches.

CONDITIONS DE CULTURE

Deux séries d'expériences ont été effectuées. La première avait pour but de faire entrevoir les liens entre certains phénomènes physiologiques et certains phénomènes chimiques, de fournir des indications sur les facteurs devant être spécialement envisagés au cours des expériences plus générales qui ont suivi. C'est de l'ensemble de ces deux séries d'expériences que seront dégagées les conclusions.

1re *Série d'expériences.* — Dans cette première série d'études, on a examiné séparément les modifications résultant de l'addition au sol de deux sels : le *chlorure de sodium* et le *nitrate de sodium*, l'un défavorable et l'autre favorable à la fonction chlorophyllienne.

2e *Série d'expériences.* — L'année suivante, on a expérimenté à l'aide d'un plus grand nombre de sels minéraux. Les quantités de sels employées ont été calculées sur les bases suivantes : 500 kilogrammes de chacun des sels de sodium par hectare et des quantités équimoléculaires pour les autres sels. Voici la liste des matières ajoutées séparément au sol dans des lots différents : *chlorures* de sodium, de potassium, d'ammonium ; *sulfates* de sodium, de potassium, d'ammonium, ferreux, de manganèse ; *nitrates* de sodium, de potassium, d'ammonium ; *phosphate* disodique.

INFLUENCE DES SELS MINÉRAUX SUR QUELQUES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DE LA VÉGÉTATION

Pour étudier la marche générale de la végétation, MM. Charabot et Hébert ont déterminé, aux divers stades du développement de la plante : le poids des principaux organes, leur richesse en matière sèche, leur teneur en cendres, en eau et en matière organique.

1re *Série d'expériences.*

Poids des divers organes, matière sèche, cendres, eau, matière organique. — Que la plante soit cultivée normalement, au chlorure de sodium ou au nitrate de sodium, il y a *au début de la végétation,* dans la plante fraîche, prédominance des feuilles et des racines. La tige, siège principal de la circulation de la sève, est à la fois la plus riche en eau et la plus pauvre en cendres et en matière organique.

Au moment de la floraison et à la fin de la végétation, les tiges sont prédominantes dans la plante fraîche aussi bien que dans la plante sèche ; la proportion d'eau est alors élevée dans la feuille.

Les racines donnent à peu près constamment le plus de cendres. A la fin de la végétation, les différences que présentent à ce point de vue les racines et les inflorescences sont très faibles.

Il est à signaler que, dans les trois genres de culture expérimentés (culture normale, culture au chlorure de sodium, culture au nitrate de sodium), la teneur centé-

simale des tiges en matière minérale ne subit pas de variation sensible pendant la végétation.

Si l'on considère *la plante tout entière, ou encore l'ensemble des parties aériennes*, on constate qu'il y a surtout enrichissement en matière organique, la proportion centésimale de cendres ne subissant que de faibles variations. L'augmentation de la proportion relative de matière organique est, nous allons revenir sur ce point, plus sensible dans les cas de la culture au chlorure de sodium et de la culture au nitrate de sodium que dans celui de la culture normale. Quant à la proportion centésimale d'eau contenue dans la plante entière, elle va en diminuant constamment, plus encore dans les plantes cultivées soit au chlorure de sodium, soit au nitrate de sodium, que dans celles cultivées normalement.

Nous allons insister sur ces deux points : augmentation de la richesse en matière organique, diminution de la proportion d'humidité, non sans avoir fait remarquer que les conclusions de l'étude de MM. Charabot et Hébert sur la marche générale de la végétation de la Menthe concordent avec celles que Berthelot et André[1] ont tirées antérieurement de leurs recherches sur d'autres plantes.

Chez la plante arrivée à un certain degré de développement (que cette plante soit cultivée normalement, au chlorure de sodium ou au nitrate de sodium), la proportion relative d'eau diminue constamment, tandis que la proportion de matière organique augmente. En outre, *les variations sont nettement plus considérables chez les plantes*

[1] Berthelot, 2, 1899, t. II, p. 7 et 372.

cultivées soit au chlorure de sodium, soit au nitrate de sodium, que chez les plantes cultivées normalement.

2e Série d'expériences.

C'est le 25 mai qu'eut lieu l'addition des sels minéraux au sol.

Matière sèche, cendres, matière organique. — Laissant de côté les faits d'ordre secondaire que les auteurs ont déduits de leurs analyses, nous allons insister sur l'état d'hydratation des plantes et sur leur richesse en matière organique. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le but principal de cette étude réside dans la constatation de la simultanéité des influences exercées sur certains phénomènes chimiques et sur les phénomènes physiologiques, absorption et transpiration, qui règlent la proportion d'eau contenue dans la plante. Aussi allons-nous raisonner sur les augmentations de la proportion de matière organique et les diminutions de la proportion d'eau subies, du 25 mai au 21 août, par les plantes soumises aux divers modes de culture.

On a pu, en se basant sur les résultats obtenus, généraliser les conclusions formulées plus haut et dire que *l'addition au sol d'un sel minéral a pour effet d'accélérer la diminution de la proportion d'eau chez la plante.* L'effet des sels minéraux est donc analogue à celui d'un éclairement plus intense, Berthelot[1] ayant constaté que les plantes poussant au soleil sont moins hydratées que celles poussant à l'ombre.

En établissant les moyennes des nombres correspon-

[1] Berthelot, **3**, 1899, t. CXXVIII, p. 139.

dant aux sels d'un même acide, MM. Charabot et Hébert sont arrivés à ce résultat que ce sont les nitrates qui favorisent le plus la perte d'eau ; viennent ensuite les sulfates, les chlorures, enfin le phosphate disodique.

INFLUENCE DE LA NATURE DU MILIEU EXTÉRIEUR SUR LA COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DE LA PLANTE

Les recherches dont nous allons exposer les résultats ont compris deux séries d'expériences : la première avait pour but l'étude de l'influence de deux sels minéraux, le chlorure et le nitrate de sodium, sur la variation des *matières minérales* chez la plante. La seconde série d'expériences a permis de déterminer les variations que subit la *matière organique,* d'une part chez une plante témoin cultivée normalement, d'autre part chez les plantes ayant vécu dans des sols additionnés respectivement de divers sels minéraux.

Influence du chlorure de sodium et du nitrate de sodium sur la variation de la matière minérale chez la plante.

MM. Charabot et Hébert ont été amenés à conclure de cette étude que la composition minérale de la plante ne paraît pas subir de modification sensible du fait de l'addition de chlorure ou de nitrate du sodium au sol. Ce résultat, encore que négatif, n'est pas dénué d'intérêt : il montre, en effet, que l'influence exercée par le milieu extérieur sur les phénomènes physiologiques qui s'accomplissent chez la plante peut être profonde sans que la composition minérale de celle-ci subisse pour cela des modifications très apparentes.

Ces conclusions confirment, du reste, celles auxquelles sont arrivés MM. A. Hébert et G. Truffaut[1]. En cultivant notamment des *Dracæna*, soit dans une terre normale sans addition d'engrais, soit dans la même terre avec addition des engrais réclamés par la composition de ces plantes, on a constaté à l'analyse que la composition centésimale des sujets traités ou témoins était sensiblement identique ; l'assimilation n'avait pas été modifiée au point de vue relatif, mais avait considérablement augmenté au point de vue absolu.

Influence de la nature du milieu extérieur sur la composition de la matière organique.

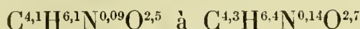
L'étude de l'influence des douze sels minéraux énumérés plus haut a conduit aux résultats que nous allons indiquer :

Chez les végétaux arrivés à leur complet développement, *les proportions, dans les plantes sèches, de cendres, de matière organique et des éléments qui composent celle-ci : carbone, hydrogène, azote, oxygène, sont très voisines les unes des autres quel que soit le sel ajouté au sol.* Enfin, la composition centésimale de la matière organique montre encore bien mieux cette constance des proportions des quatre éléments organiques, malgré la diversité des sels ajoutés.

La formule de la matière organique (rapportée à un poids moléculaire égal à 100) est assez uniforme :

[1] A. Hébert et G. Truffaut, 1898, 3e série, t. XIX, p. 644, et 1903, t. XXIX, p. 1235.

le nombre des atomes de chacun des éléments varie seulement entre les limites :



$$C^{4,1}H^{6,1}N^{0,09}O^{2,5} \text{ à } C^{4,3}H^{6,4}N^{0,14}O^{2,7}$$

pour les organes aériens, et



$$C^{3,7}H^{6,0}N^{0,05}O^{2,8} \text{ à } C^{4,0}H^{6,6}N^{0,08}O^{3}$$

pour les racines.

Mais, s'il y a identité de composition élémentaire chez les végétaux cultivés différemment, même avec addition au sol de substances diverses, *de très grandes variations se manifestent dans les quantités absolues de matière végétale et de ses éléments.*

D'une façon générale, l'addition des sels au sol a été favorable, et ces sels ont, presque dans tous les cas, joué le rôle d'engrais ; quelques irrégularités cependant se sont manifestées dans les effets. C'est ainsi que le nitrate d'ammonium, qui exerce habituellement des influences si favorables, a diminué fortement la production : peut-être la dose distribuée était-elle trop forte et a-t-elle été nocive pour les plantes ? Quoi qu'il en soit, ces résultats et ceux que nous avons fait connaître concernant l'influence des sels minéraux sur la formation de l'huile essentielle nous fournissent une conclusion positive. Ils montrent nettement *les avantages immédiats que l'on pourra tirer, dans la culture et dans l'exploitation des plantes à parfums, de l'étude méthodique des engrais répondant aux besoins chimiques de chacune de ces plantes.* Effectivement, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, M. L. Belle, en s'appuyant sur les résultats obtenus par MM. Charabot et Hébert, a proposé une fumure rationnelle de la Menthe, qui a donné pleine satisfaction.

INFLUENCE DE LA NATURE DU MILIEU EXTÉRIEUR SUR L'ACIDITÉ VÉGÉTALE.

Parmi les conditions susceptibles de favoriser l'éthérification des alcools chez la plante, il y a lieu de comprendre *a priori* celles qui sont favorables à la formation des acides. Dans le cas qui nous occupe, les acides combinés avec l'alcool considéré (menthol) sont des acides volatils : acides acétique et valérianique. La question à laquelle s'attachera le plus d'intérêt, sera celle relative aux influences exercées sur l'acidité volatile de la plante.

Le problème de la formation et de la distribution des acides végétaux a préoccupé un grand nombre de physiologistes et de chimistes, parmi lesquels Berthelot, Fleurieu, M. André, Petit, Dehérain et Moissan, M. Hugo de Vries, M. Aubert, M. Gerber, etc. ; plus récemment encore, M. Astruc d'une part, MM. Charabot et Hébert d'autre part, ont aussi étudié cette question.

Dans les recherches que nous exposons ici, le but poursuivi par les auteurs était de connaître notamment l'acidité volatile, pour en déduire le rapport entre les acides volatils éthérifiés et l'acidité volatile totale (acides volatils *libres* et acides volatils *combinés à un alcool*). Il convenait, en effet, de fixer le mieux possible les conditions dans lesquelles s'effectuent *in vivo* les réactions chimiques modifiant la composition des huiles essentielles, en particulier l'éthérification des alcools.

Pour une appréciation sommaire de la formation des acides, la détermination de l'alcalinité des cendres, qui

correspond aux bases combinées avec les acides organiques, peut à la rigueur être suffisante. Nous aurons donc à nous occuper :

1° De l'influence de la nature du milieu extérieur sur l'acidité volatile de la plante ;

2° De l'influence de la nature du milieu extérieur sur la neutralisation des acides chez la plante, c'est-à-dire sur l'alcalinité des cendres.

Acidité volatile.

Le dosage des acides volatils a été pratiqué sur les feuilles. Pour obtenir des résultats comparatifs, on a toujours opéré dans les mêmes conditions, en prélevant les feuilles tout le long de la tige principale, depuis le sol jusqu'à l'inflorescence. Les feuilles, pesées immédiatement, étaient pilées rapidement et placées dans un ballon avec quinze fois leur poids d'eau. On procédait ensuite à la distillation et recueillait un volume d'eau égal aux deux tiers du volume employé : des expériences préalables avaient en effet montré que, dans ces conditions, la totalité des acides volatils était obtenue. Il suffisait ensuite de faire un titrage acidimétrique avec de la potasse $\frac{1}{50}$ normale, en présence de la phtaléine du phénol, et de rapporter les résultats à 100 parties de feuilles. Les expériences étaient faites le même jour, et tous les prélèvements effectués à la même heure.

Les nombres obtenus ont montré que, d'une manière générale, l'addition de sels minéraux au sol augmente l'acidité volatile des feuilles fraîches. Mais les différences observées sont dues partiellement aux différences

d'hydratation des plantes. Elles sont moins grandes si l'on considère les nombres rapportés aux feuilles sèches, tandis que les chlorures et les sulfates augmentent un peu l'acidité volatile des feuilles sèches, les nitrates paraissent la réduire; quant au phosphate disodique, il l'augmente sensiblement.

En opérant sur l'ensemble des parties aériennes, on a obtenu des nombres plus faibles qu'avec les feuilles. Il en résulte que les acides volatils sont particulièrement abondants chez la feuille.

Connaissant et la quantité d'huile essentielle contenue dans 100 parties de plante fraîche, et la teneur de cette huile essentielle en éther, on peut calculer facilement le nombre qui mesure la quantité des acides volatils éthérifiés. On a effectué ces diverses déterminations, dont les résultats ont permis d'établir le rapport entre les acides volatils éthérifiés et l'acidité volatile totale. La connaissance, même grossière, de la valeur de ce rapport présente un intérêt tout particulier au point de vue de l'étude des conditions qui règlent l'éthérification des alcools chez la plante.

On a constaté que la proportion des acides volatils éthérifiés diffère peu de celle des acides volatils libres.

En outre, et c'est là un fait important :

Les groupes de sels qui favorisent le plus la diminution de la proportion d'eau chez le végétal, sont précisément ceux pour lesquels le rapport entre les acides volatils éthérifiés et l'acidité volatile totale est le plus élevé.

On peut ajouter que ces sels minéraux, à l'exception du phosphate disodique, paraissent favoriser l'éthérification des acides, ou tout au moins ne l'entravent pas.

Cette conclusion, sur laquelle nous insistons, deviendra plus importante lorsque nous aborderons l'étude évolutive comparée de la matière odorante chez les plantes soumises aux divers modes de culture.

Alcalinité des cendres.

L'alcalinité des cendres dépend de la quantité des acides combinés avec des bases minérales. Elle permet également de se faire une idée de l'activité de la formation des acides dans le végétal considéré. Sa détermination a donné quelques résultats qu'il n'est pas sans intérêt de mentionner ici :

Au début de la végétation, les cendres sont plus alcalines provenant des organes aériens que provenant des racines. La plante se développant, l'alcalinité des cendres décroît dans les parties aériennes et croît dans les racines pour y devenir finalement plus forte que dans les organes aériens.

Les sels minéraux ont eu pour effet, d'une manière générale, d'augmenter dans les organes aériens la proportion des acides combinés aux bases. Dans les racines, les différences n'ont pas été très sensibles.

Nous verrons plus loin que les conditions qui, dans les organes aériens, favorisent la saturation des acides, favorisent aussi leur éthérification.

INFLUENCE DE LA NATURE DU MILIEU EXTÉRIEUR SUR L'ÉVOLUTION DES COMPOSÉS TERPÉNIQUES

L'étude comparative de l'évolution des composés terpéniques, d'une part chez les plantes cultivées norma-

lement, d'autre part chez les plantes ayant vécu dans des sols additionnés de divers sels minéraux, présentait un intérêt tout particulier. Elle devait permettre, en effet, de discerner quelle est la nature des phénomènes chimiques qui sont favorisés ou entravés, en même temps que sont affectés tels ou tels phénomènes physiologiques. Aussi les observations faites dans cette voie ont-elles mis en lumière les liens étroits qui relient les deux groupes de phénomènes.

Dans cet ordre d'idées, les expériences ont été divisées en deux séries. Après avoir montré le rôle favorable exercé par la fonction chlorophyllienne sur les phénomènes qui président à la formation des éthers, MM. Charabot et Hébert ont étudié l'influence de deux sels : l'un, le chlorure de sodium, défavorable à la fonction chlorophyllienne ; l'autre, le nitrate de sodium, favorable à cette fonction. Ensuite ils ont donné à leurs recherches une extension plus grande en étudiant plusieurs groupes de sels minéraux, ceux qui ont été énumérés précédemment.

1re *Série d'expériences.*

L'étude de l'influence du chlorure et du nitrate de sodium a conduit à des résultats très nets. *Chez la plante cultivée dans un sol additionné soit de chlorure de sodium, soit de nitrate de sodium, l'éthérification est sensiblement et constamment plus active que chez la plante cultivée normalement,* ainsi que l'a montré la valeur du rapport entre le menthol combiné et le menthol total.

Tandis que l'addition de chlorure de sodium au sol

n'a pas modifié sensiblement la proportion de menthol total, celle-ci s'est trouvée réduite dans l'huile essentielle extraite de la plante cultivée au nitrate de sodium.

Les deux sels, chlorure de sodium et nitrate de sodium, ont eu pour effet de réduire la proportion de menthone. Il semble donc résulter de ces observations que les causes favorisant l'éthérification du menthol entravent, au contraire, la transformation de cet alcool en menthone. Nous verrons plus loin ce qu'il faut penser de la généralité de ce fait.

En résumé, *l'addition au sol de chlorure de sodium ou de nitrate de sodium a pour effet d'accentuer l'augmentation de la proportion centésimale de matière organique dans la plante, ainsi que la perte relative d'eau. En même temps que ces deux sels exercent séparément sur le végétal cette double influence, ils favorisent l'éthérification et entravent, au contraire, la transformation du menthol en menthone.*

Ces conclusions, ainsi que nous allons le faire ressortir, permettent de penser que l'énergie chlorophyllienne n'est pas le seul facteur susceptible de régler à la fois la marche de l'éthérification et la proportion d'eau contenue dans le végétal. Cette proportion dépend, en effet, non seulement de la quantité d'eau transpirée sous l'influence de la radiation, mais aussi de la quantité d'eau absorbée; et il y a lieu de comprendre, entre autres influences favorables à l'éthérification, celles qui ont pour effet d'augmenter l'excès de la proportion d'eau vaporisée sur la proportion d'eau absorbée : cela, en vertu des considérations exposées au début de cette étude.

On sait que le chlorure de sodium réduit l'énergie

chlorophyllienne[1], de sorte que l'on aurait pu s'attendre à ce qu'il gênât l'éthérification; mais il paraît logique de déduire des résultats de ces recherches que la présence du sel en question a ralenti l'absorption plus encore que la transpiration. C'est d'ailleurs un fait connu que, le sel marin exerçant sur la plante une action nuisible, les végétaux halophytes trouvent le moyen d'arrêter l'absorption de l'eau afin d'empêcher le sel de s'accumuler outre mesure dans les tissus et d'amener la mort. Si donc la transpiration se trouve réduite dans des proportions moindres que l'absorption, on conçoit que la diminution de la quantité d'eau chez la plante ait été accélérée, comme on l'a constaté. Le fait de cette accélération doit être dès à présent mis en parallèle avec celui de l'éthérification plus active.

Le nitrate de sodium exerce sur la plante une influence favorable à la fonction chlorophyllienne et, partant, à la transpiration : soit alors que l'absorption se trouve réduite, soit qu'elle ne subisse aucune modification, soit enfin qu'elle n'éprouve qu'un accroissement moindre que la transpiration. on constate que l'appauvrissement de la plante en eau sera favorisé, en même temps, d'ailleurs, que l'éthérification.

Devait-on, après ces seules expériences, ériger en doctrine que toute influence capable d'accélérer la diminution de la proportion d'eau chez la plante serait capable en même temps de favoriser la formation des éthers? Rien n'y autorisait encore, et l'on pouvait, au contraire, soupçonner l'existence d'autres facteurs modifiant la marche du phénomène, l'éthérification dépen-

[1] Griffon, 8e série, t. X, p. 1.

dant, par exemple, de l'acidité du milieu et, par conséquent, des conditions relatives à la production ou à la neutralisation des acides.

C'est précisément en vue d'établir la généralité des conclusions qui viennent d'être formulées, et d'en préciser le sens, que fut entreprise la série de recherches dont nous allons indiquer les résultats.

2e *Série d'expériences.*

Nous rappelons que ces expériences ont porté sur les sels minéraux suivants : *chlorures* de sodium, de potassium, d'ammonium ; *sulfates* de sodium, de potassium, d'ammonium, de fer, de manganèse ; *nitrates* de sodium, de potassium, d'ammonium ; *phosphate* disodique.

On se souvient que, comme dans la précédente série d'expériences, le chlorure de sodium et le nitrate de sodium ont accéléré la diminution de la proportion d'eau chez la plante. Le chlorure de sodium n'a pas modifié d'une façon très sensible la proportion de menthol total, tandis que le nitrate de sodium l'a réduite ; la proportion du menthone a été diminuée chez les plantes soumises à l'influence de ces sels. En ce qui concerne l'éthérification du menthol, phénomène dont l'activité est mesurée par la valeur du rapport $\frac{\text{menthol combiné}}{\text{menthol total}}$, l'influence du chlorure de sodium n'a pas été très sensible, mais elle s'est manifestée dans le même sens qu'au cours des expériences précédentes ; celle du nitrate de sodium a été, elle aussi, favorable, le rapport du menthol combiné au menthol total s'est en effet élevé

à $\frac{33}{100}$, au lieu de $\frac{26}{100}$ pour la culture normale. En présence des résultats très significatifs fournis par la première série d'expériences et de ceux, moins nets dans le cas du chlorure de sodium, mais très concluants dans le cas du nitrate de sodium, obtenus au cours de la seconde série d'expériences, on peut considérer les conclusions précédentes des auteurs comme fondées dans les deux cas envisagés et aborder l'examen de leur généralité.

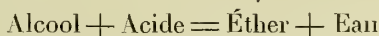
Nous avons vu que *les sels minéraux ajoutés au sol ont pour effet d'accélérer, d'une façon plus ou moins sensible, la diminution de la proportion d'eau chez la plante*. Nous avons maintenant à ajouter que, d'une manière générale, *ils favorisent l'éthérification du menthol.*

Ces deux phénomènes, *perte d'eau* et *éthérification du menthol,* paraissent donc ne pas être dus à des causes indépendantes. Poussons plus loin leur étude comparative. Les nombres qui en mesurent l'activité n'accusent certes pas des variations proportionnelles. Mais, hâtons-nous de le dire, cela ne pouvait être. Pour que les variations que subissent la perte d'eau d'une part, le rapport du menthol combiné au menthol total d'autre part, fussent proportionnelles, il aurait fallu que les pieds sur lesquels on a dosé l'eau fussent rigoureusement moyens; il aurait fallu en outre que le menthol se fût trouvé, dans tous les cas, en présence soit d'un seul et même acide en proportion constante, soit d'un mélange d'acides ayant la même composition. Or il n'en est rien. Dans la Menthe poivrée, le menthol se combine partiellement avec l'acide

acétique, partiellement avec l'acide valérianique. Ce dernier acide éthérifie le menthol plus difficilement que le premier, de sorte que les circonstances qui en favorisent la formation au détriment de l'acide acétique tendront à entraver l'éthérification.

Il était nécessaire de faire ces remarques avant de pouvoir mettre en évidence le rôle des influences capables de réduire la proportion d'eau chez la plante, en ce qui concerne les phénomènes chimiques de déshydratation qui président à la formation des éthers. Elles ont montré que les conclusions devaient être dégagées des résultats considérés, non pas chacun en particulier, mais dans leur ensemble. Ces résultats ont été réunis en plusieurs groupes selon l'importance des pertes d'eau qui ont été subies depuis le jour de l'addition des sels minéraux (25 mai) jusqu'à la fin de la floraison (21 août), et l'on a pu voir nettement, en comparant les moyennes des nombres correspondant à ces divers groupes, qu'*il existait une relation entre l'intensité du phénomène de l'éthérification et la diminution de la proportion d'eau chez la plante*. En d'autres termes, les conditions qui réduisent l'hydratation du végétal, soit en entravant l'absorption de l'eau par les racines, soit en activant l'évaporation par les feuilles, se montrent favorables à l'éthérification des alcools.

L'équation :



$$\text{Alcool} + \text{Acide} = \text{Éther} + \text{Eau}$$

montre que l'éthérification, si le phénomène suit chez la plante les lois de l'équilibre chimique, doit être d'autant plus active que la proportion d'eau est moindre et que l'acidité du milieu est plus grande. Les diffé-

rences observées en ce qui concerne la valeur du rapport $\frac{\text{menthol combiné}}{\text{menthol total}}$ sont-elles dues aux phénomènes qui règlent la proportion d'eau chez la plante, ou bien s'expliquent-elles par des différences d'acidité? Les faits exposés plus haut au sujet de l'acidité volatile permettent de répondre à cette question. On a vu, en effet, que les groupes de sels qui favorisent le plus la diminution de la proportion d'eau chez la plante sont aussi ceux pour lesquels le rapport des acides volatils éthérifiés à l'acidité volatile totale est le plus élevé. Il en résulte que, *à un état d'hydratation moindre correspond non seulement une éthérification plus active de l'alcool, mais encore une éthérification plus active de l'acide*. C'est donc bien des phénomènes, absorption et transpiration, susceptibles de régler les proportions d'eau contenues chez la plante, qu'il y a lieu de faire dépendre le phénomène de l'éthérification des alcools. — Cela montre, en particulier, que *c'est en activant la transpiration que la fonction chlorophyllienne ou, d'une manière plus générale, la radiation lumineuse favorise l'éthérification*.

Tels sont les résultats relatifs à la transformation d'un alcool terpénique en ses éthers dans l'organisme végétal. La formation de la menthone par oxydation du menthol, phénomène qui a pour siège principal les organes chez lesquels l'oxygène est fixé le plus énergiquement, subit des variations moins régulières. Toutefois, il semble que les influences capables de favoriser l'éthérification tendent, au contraire, à entraver la transformation de l'alcool en son produit d'oxydation immédiat, qui est la menthone dans le cas examiné ici.

Conclusions.

Il importe, pour terminer ce chapitre, de mettre en relief les grandes lignes du sujet qui en a formé la seconde partie et de formuler les conclusions générales qui peuvent se déduire des études relatives au mécanisme de l'évolution des composés terpéniques.

On a vérifié tout d'abord que *l'éthérification chez les plantes s'effectue par l'action directe des acides sur les alcools préalablement formés, et que ce phénomène est favorisé par un agent particulier jouant le rôle de déshydratant.* De semblables transformations, étant données les notions introduites dans la science durant ces dernières années, paraissent dues à *l'intervention d'une diastase à action réversible.*

Les phénomènes de déshydratation étant caractéristiques des milieux assimilateurs, il y avait lieu d'étudier l'éthérification *in vivo* dans ses relations avec la fonction chlorophyllienne. Des expériences nombreuses effectuées dans ce but ont montré que *les influences capables de modifier les plantes de façon à les adapter à une fonction chlorophyllienne plus intense favorisent en même temps l'éthérification des alcools terpéniques.*

Ces résultats devaient conduire à rechercher à l'aide de quel mécanisme la fonction chlorophyllienne peut exagérer l'éthérification. La plante renfermant, en même temps que des éthers composés, un mélange d'alcool libre, d'acide et d'eau, il y avait lieu de se demander si les phénomènes d'éthérification ne sont pas, dans le végétal, régis par les lois de la réversibilité, auquel cas

le rôle de la fonction chlorophyllienne dans le phénomène de formation des éthers s'expliquerait par l'effet de cette fonction favorable à l'élimination mécanique de l'eau.

L'arrivée de l'eau par les racines et son départ par les organes verts sont en relation avec la composition minérale des milieux au contact desquels vivent les racines. En modifiant cette composition, on devait donc exercer une influence sur l'état d'hydratation de la plante et constater que *l'addition au sol d'un sel minéral a pour effet, d'une part, de diminuer cet état d'hydratation, d'autre part de favoriser à la fois l'éthérification des acides et celle des alcools.*

C'est donc en se montrant favorable à l'élimination mécanique de l'eau que la fonction chlorophyllienne active l'éthérification. Mais il n'est pas nécessaire que la transpiration devienne plus intense pour que la formation des éthers se trouve accélérée ; elle peut l'être également si l'absorption de l'eau par les racines se trouve réduite. C'est ce qui a lieu lorsqu'on soumet la plante à l'influence du chlorure de sodium, qui réduit l'absorption sans modifier sensiblement la transpiration, ainsi que l'a montré encore M. Ricôme[1], à la suite des travaux de MM. Charabot et Hébert.

Ainsi la fonction chlorophyllienne tend à acquérir une signification nouvelle : non seulement elle assure la fixation, par les tissus végétaux, du gaz carbonique ; non seulement elle réalise, en favorisant la transpiration, la circulation des liquides qui apportent et distribuent les principes nécessaires à la nutrition miné-

[1] Ricôme, 1903, t. CXXXVII, p. 141.

rale de la plante, mais encore elle active, une fois le carbone assimilé, les condensations permettant le passage d'une molécule simple à une de ces innombrables molécules complexes dont l'étude exerce, depuis plus d'un siècle, la sagacité des chimistes.

CHAPITRE VI

RÔLE PHYSIOLOGIQUE DES MATIÈRES ODORANTES

Les travaux exposés dans les pages qui précèdent ont fait connaître les conditions de formation des composés odorants ; ils ont solutionné les problèmes de la distribution et de la circulation de ces substances, mis en lumière les transformations chimiques qu'elles subissent au fur et à mesure de la végétation, ainsi que les circonstances physiologiques qui président à ces métamorphoses. Pour compléter l'étude que nous avons entreprise, nous aurons à nous occuper encore du rôle physiologique des matières odorantes.

Tout d'abord, il est évident que ces produits tiennent une place importante dans la nutrition du végétal ; cela ressort de leur fréquence et de leur abondance chez des individus appartenant aux familles les plus variées.

On peut dire que ces matières sont regardées, dans tous les Traités de Physiologie végétale, comme des déchets dont la plante ne saurait faire aucun emploi. Lorsqu'on recherche les raisons qui ont pu provoquer cette conclusion, on n'en trouve aucune.

D'une manière tout à fait générale, nous pensons qu'il faut se garder contre toute tendance trop marquée

à considérer la plante comme une usine dans laquelle il serait fait un gaspillage des sous-produits. Nous pensons que les réactions sont suffisamment variées chez le végétal et son matériel assez perfectionné pour qu'il soit tiré parti, au profit des fonctions qui s'y accomplissent, de cette infinité de substances s'élaborant dans l'organisme. Les hydrates de carbone, les matières albuminoïdes, les corps gras, dont la signification a été jusqu'ici particulièrement bien définie, occupent une place si prépondérante dans l'économie végétale, que l'attention s'est détournée à leur profit des matières qui les accompagnent. Mais un grand nombre de celles-ci peuvent, concurremment avec les importants matériaux que nous venons d'énumérer, participer à l'accomplissement des grands actes de la vie.

Avant de nous occuper de ces questions, il est nécessaire que nous disions un mot du rôle accessoire que certains auteurs ont prêté aux parfums dans certaines circonstances, rôle qui serait complètement indépendant de la place que tiennent ces substances dans le *circulus* de la matière dans le végétal.

Rôles accessoires des composés odorants.

Quelques auteurs ont voulu voir, dans les essences odorantes, des moyens de défense dont les végétaux disposent contre leurs ennemis du règne animal. Nous devons reconnaître que cette conception évoque autant de poésie que le sujet qu'elle concerne. Malheureusement il ne semble pas qu'elle mérite autre chose qu'une mention. C'est ainsi, par exemple, que, d'après Kaltenbach, les feuilles de *Thymus Serpyllum* L. sont man-

gées par deux espèces de Coléoptères, les chenilles de vingt-cinq papillons, les larves d'une mouche (*Trypeta serpylli*), un puceron (*Aphys serpylli*) et une mite (*Calycophthora serpylli*). Six de ces espèces d'animaux ne s'attaquent qu'au Thym.

On a fait observer, il est vrai, que les essences ne serviraient qu'à éloigner les animaux omnivores.

Chez les arbres résineux, le contenu des canaux sécréteurs joue un autre rôle, celui de cicatriser des blessures en formant un bouchon imperméable à l'air.

Se plaçant sur un terrain tout à fait différent, Tyndall a assigné aux matières odorantes, surtout à celles qui se trouvent sécrétées vers la surface des organes foliaires, un rôle dans la régulation de la transpiration. Lorsqu'une couche d'air est mélangée avec des vapeurs d'huiles essentielles, elle devient moins perméable aux rayons calorifiques. Ainsi une plante parfumée se trouverait protégée, le jour, contre une transpiration trop active, et, la nuit, contre un trop grand refroidissement.

D'ailleurs, lorsque les appareils de sécrétion de la feuille sont très actifs, la sécrétion produisant sur cet organe un véritable laquage, cet enduit peut dans une assez large mesure réduire l'activité de la transpiration[1].

Laissant maintenant de côté l'exposé des documents imparfaits que nous possédons sur cet ordre de questions, nous allons nous efforcer de rechercher quelle peut être la place physiologique des constituants des parfums dans la nutrition de l'être végétal.

[1] Volkens, 1890, t. VIII.

Rôle des produits odorants dans la nutrition du végétal.

Nous avons indiqué que, à l'approche de la floraison, la plante accumule des produits odorants dans ses parties vertes. Puis, lorsque surviennent les fleurs, l'appareil chlorophyllien se vide partiellement dans celles-ci. Le travail de la fécondation s'accomplissant, la fleur consomme une quantité importante de matière odorante. En d'autres termes, arrivés à ce point de notre exposé, nous savons qu'avec le phénomène de la fécondation coïncide une importante consommation d'essence, et que tout semble avoir concouru à l'approvisionnement de la fleur en vue de cette dépense. Mais nous ne pouvons pas encore affirmer que la consommation en question soit imputable au travail de la fécondation. L'exposé qui va suivre éclaircira ce point.

Consommation de produits odorants chez la plante étiolée.

Pour rechercher si la matière odorante est susceptible d'utilisation chez la plante, MM. Charabot et Hébert ont effectué deux séries d'expériences. Par la première, ils ont pu arriver à cette conviction que la plante cultivée en pleine lumière renferme plus d'essence que la plante étiolée. Ce résultat acquis, ils ont étudié les variations qui se produisent chez le végétal à partir du moment où il a été privé de la lumière.

I. — INFLUENCE DE LA LUMIÈRE SUR LA TENEUR DE LA PLANTE EN ESSENCE

Ainsi que nous venons de le dire, MM. Charabot et Hébert[1] ont recherché tout d'abord quelle est, de deux plantes. l'une cultivée à l'ombre, l'autre maintenue en pleine lumière, celle qui renferme le plus d'essence. Ils ont opéré sur la Menthe poivrée.

Une plantation avait été faite au début de mars. Le 10 mai, une certaine surface de terrain fut protégée complètement contre les rayons solaires. Une partie seulement des pieds privés de lumière résista ; mais la floraison ne se produisit pas. D'ailleurs, la plante ne se développa que très médiocrement. Le 6 août, les plantes témoins et les plantes étiolées furent soumises à la distillation.

La plante ayant poussé à l'ombre renfermait une proportion d'eau notablement plus grande que la plante venue en pleine lumière, observation identique à celle que Berthelot avait exposée au sujet d'autres plantes.

Les plantes cultivées à l'ombre ne portant pas d'inflorescence, MM. Charabot et Hébert ont voulu comparer leur essence à celle des parties correspondantes des plantes témoins. Ils ont donc distillé séparément les organes verts (feuilles et tiges) et les inflorescences de ces plantes, en ayant soin, dans tous les cas, d'extraire la partie d'huile essentielle restée en solution dans les eaux distillées.

[1] Charabot et Hébert, 2, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 405; 3, 1904, t. CXXXVIII, p. 380.

A l'état frais, un pied pesait, en ne tenant compte que des parties aériennes :

PLANTES TÉMOINS			PLANTES ÉTIOLÉES
Parties vertes.	Inflorescences.	Parties aériennes.	Parties aériennes.
31 gr. 7	16 gr. 5	48 gr. 2	8 gr. 71

L'extraction des essences a donné les résultats suivants :

	ESSENCES DANS LES PLANTES			
	TÉMOINS			ÉTIOLÉES
	Parties vertes (tiges et feuilles).	Inflorescences.	Parties aériennes.	Parties aériennes (tiges et feuilles).
Essence p. 100 de plante fraîche.	0,1833	0,4482	»	0,0726
Essence p. 100 de plante sèche. .	0,629	1,815	»	0,320
Poids d'essence correspondant à 1 pied . . .	58 mgr.	74 mgr.	132 mgr.	6 mgr.

Donc, *l'obscurité réduit considérablement, à la fois, la proportion centésimale et le poids absolu d'essence contenus dans la plante.* Mais cela ne nous indique pas s'il y a eu seulement ralentissement de la formation de l'essence du fait de la suppression de la lumière, ou bien si cette suppression a entraîné une consommation d'huile essentielle. Avant d'aborder l'étude de cette question, nous indiquerons encore que l'huile essentielle extraite des plantes cultivées à l'ombre renfermait 17,3 % d'éther du menthol, au lieu de 18,1 %, proportion d'éther contenue dans l'essence des parties vertes des plantes ayant vécu à la lumière.

2. — VARIATIONS DES PRODUITS ODORANTS CHEZ LA PLANTE PRIVÉE DE LUMIÈRE

Pour trancher la question de savoir si la suppression de la lumière a seulement pour effet de ralentir la formation de l'essence ou bien d'entraîner sa consommation, il fallait observer les variations subies chez le végétal à partir du moment où il est privé de lumière. MM. Charabot et Hébert[1] ont, dans ce but, effectué sur le Basilic (*Ocimum Basilicum* L.) les recherches dont nous allons indiquer les grandes lignes.

Un peu avant l'époque de la floraison, au début de juillet, les plantes ont été divisées en deux lots : le premier renfermant les végétaux témoins maintenus à la lumière; le second, des pieds de Basilic abrités contre la lumière solaire jusqu'au moment de la floraison complète des sujets témoins, c'est-à-dire jusqu'aux derniers jours d'août.

Au début de juillet, le jour même où l'expérience commençait, la plante fut analysée, et un lot fut soumis à la distillation, de façon à déterminer le poids et la composition de l'essence renfermée dans chaque pied. Puis, la même opération fut répétée vers la fin août, d'une part avec le lot de plantes témoins, d'autre part avec les pieds de Basilic étiolés. Ces derniers, exempts de fleurs, portaient des feuilles d'un vert clair à pétioles allongés.

Tandis que chez la plante témoin l'inflorescence est

[1] E. Charabot et A. Hébert, 2, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 580; 3, 1905, t. CXL, p. 455.

prépondérante, chez la plante étiolée il y a prédominance de la feuille, comme chez le sujet normal à un stade antérieur. On constate, en outre, que l'augmentation de poids de la plante étiolée est très faible, et encore porte-t-elle surtout sur l'humidité.

L'extraction des essences a été effectuée par distillation avec la vapeur et épuisement, au moyen de l'éther de pétrole, des eaux recueillies.

	Début de juillet	*Fin août*			
		PLANTES TÉMOINS			PLANTES ÉTIOLÉES
	Parties aériennes formées de tiges et de feuilles.	Tiges et feuilles.	Inflorescences.	Ensemble des parties aériennes.	Parties aériennes formées de tiges et de feuilles.
Essence p. 100 de plante — fraîche .	0,0704	0,0202	0,0629	0,0420	0,0157
Essence p. 100 de plante — sèche . .	0,4929	0,0976	0,3786	0,2127	0,2181
Poids d'essence correspondant à un pied	20 mgr.	52 mgr.	168 mgr.	220 mgr.	12 mgr. 5

Ce tableau montre : 1° qu'*il y a eu, à la lumière, production* de 220 — 20 = 200 mgr. *d'essence par pied*[1]; 2° qu'*il y a eu, à l'obscurité, consommation* de

$$20 - 12.5 = 7^{mgr},5$$

de composés odorants par pied, et cela malgré que le

[1] La racine de Basilic ne renferme pas d'huile essentielle, de sorte que l'essence contenue dans un pied se réduit à celle contenue dans les parties aériennes.

poids de la plante ait subi une augmentation. Les nombres, qui paraissent faibles parce qu'ils sont rapportés à un pied, ont pu être cependant déterminés avec précision, car les auteurs ont opéré à la fois sur un grand nombre de pieds.

On va voir maintenant quels sont les principes constitutifs de l'huile essentielle que la plante consomme de préférence lorsque, privée de la lumière solaire, elle assimile plus péniblement le gaz carbonique de l'air.

Nous rappelons que l'essence de Basilic de Grasse renferme du linalol gauche, de l'eucalyptol (cinéol) et de l'estragol.

La répartition des principaux constituants dans les diverses plantes analysées a été la suivante :

	Début de juillet	*Fin août*			
		PLANTES TÉMOINS			PLANTES ÉTIOLÉES
		Poids des principes odorants contenus dans			
	Poids des principes odorants contenus dans un pied.	les tiges et feuilles d'un pied.	les inflorescences d'un pied.	un pied.	Poids des principes odorants contenus dans un pied.
Estragol	10 mgr.	38 mgr.	89 mgr.	127 mgr.	9 mgr. 3
Composés terpéniques	10 »	14 »	79 »	93 »	3 » 2

On voit donc que, du début de juillet à la fin août (époque de la floraison complète) : 1° lorsque la plante pousse à la lumière, le poids d'estragol augmente de

28 mgr. dans les parties vertes de chaque pied et de 117 mgr. dans un pied entier ; le poids de composés terpéniques croît en même temps de 4 mgr. dans les organes chlorophylliens d'un pied et de 83 mgr. dans le végétal entier; 2° au contraire, *à l'obscurité, il y a consommation d'estragol et de composés terpéniques,* et ce sont surtout ces derniers qui disparaissent : le poids d'estragol par pied diminue de 0 mgr., 7 seulement, celui de composés terpéniques de 6 mgr., 8, c'est-à-dire des deux tiers de sa valeur primitive.

En résumé, il ressort de ces observations que, à l'abri de la lumière, la plante est susceptible de consommer l'huile essentielle qu'elle renferme et notamment les composés terpéniques. Autrement dit, lorsque le végétal, placé dans l'obscurité, n'assimile plus que faiblement le gaz carbonique de l'air, la matière odorante est détruite, soit pour participer à la formation de nouveaux tissus, soit pour fournir une fraction de l'énergie dont la plante se trouve privée en l'absence de lumière.

Ainsi, les produits odorants contribuent au travail chimique de la vie végétale. Quel est le sens de cette contribution? C'est ce que nous allons essayer de montrer.

Consommation de produits odorants due à l'accomplissement des fonctions de la fleur.

MM. Charabot et Hébert ont examiné tout d'abord, au point de vue de l'accumulation de l'huile essentielle dans les organes verts de la plante, l'influence de la

formation des inflorescences. Ils ont ensuite étudié les résultats de l'accomplissement des fonctions de la fleur en ce qui concerne l'huile essentielle.

I. — EFFETS DE LA FORMATION DES INFLORESCENCES

Un lot de terrain planté de Menthe poivrée au mois de mars a été divisé en deux parties : l'une réservée à des sujets devant servir de témoins, l'autre renfermant des plantes auxquelles les auteurs[1] ont enlevé les inflorescences au fur et à mesure de leur formation, opération qu'il a été nécessaire de renouveler tous les jours, au moment de la floraison.

On a distillé séparément : 1° les plantes dont les inflorescences avaient été constamment supprimées; 2° les plantes témoins en ayant soin d'en retirer les inflorescences, mais seulement au moment de l'expérience. Les inflorescences ont commencé de se former le 20 juillet. C'est donc à cette date qu'a été faite la première opération. Au début du mois d'août, on a fait une prise d'échantillons à la fois dans le lot affecté aux plantes témoins et dans celui réservé aux plantes dont les inflorescences avaient été écartées au fur et à mesure de leur formation.

MM. Charabot et Hébert ont constaté que la plante systématiquement privée de ses inflorescences demeure un peu plus hydratée que la plante témoin : la différence provient de ce que la tige de la première renferme une plus grande proportion d'eau que celle de

[1] E. Charabot et A. Hébert, **2**, 1904, 3e série, t. XXXI, p. 402; **3**, 1904, t. CXXXVIII, p. 380.

la seconde; c'est l'inverse qui a lieu pour la feuille. L'élimination des inflorescences a aussi pour effet de favoriser l'accroissement de la tige par rapport aux autres organes, résultat conforme à celui observé par Berthelot[1] avec d'autres plantes.

Ces faits étant signalés, nous allons exposer ceux qui présentent le plus d'intérêt en ce qui concerne le problème à l'étude. Les auteurs ont extrait, le 6 août, l'huile essentielle : 1° des plantes témoins dont ils ont séparé les inflorescences au moment de l'expérience ; 2° des inflorescences de ces plantes témoins ; 3° des plantes dont les inflorescences avaient été écartées régulièrement dès leur formation. Voici les résultats obtenus :

	Plantes témoins		Plantes systématiquement privées de leurs inflorescences (tiges et feuilles).
	Parties vertes (tiges et feuilles).	Inflorescences.	
Essence p. 100 de plante — fraîche	0,1833	0,4482	0,1997
Essence p. 100 de plante — sèche	0,629	1,815	0,705
Poids d'essence correspondant à un pied	58 mgr.	74 mgr.	64 mgr.

Nous voyons donc que *les parties vertes des plantes témoins renferment à la fois une proportion d'essence moindre et un poids absolu d'essence plus faible que les parties correspondantes de la plante dont on a écarté les inflorescences au fur et à mesure de leur formation.*

En d'autres termes, la suppression des inflorescences

[1] Berthelot, **2**, t. II, p. 44.

entraîne une accumulation de composés terpéniques dans les organes chlorophylliens. Cette accumulation est-elle due à un arrêt dans la circulation, ou bien à l'exagération du développement des organes produisant le plus d'essence? En nous reportant à ce que nous avons dit plus haut au sujet de l'exagération du développement des tiges par rapport aux feuilles et en tenant compte de ce fait que la feuille renferme beaucoup plus d'essence que la tige, nous voyons que l'on ne peut attribuer au développement excessif de tel ou tel organe l'accroissement que subit la quantité d'essence contenue dans la plante privée d'inflorescences. Un semblable accroissement est donc dû à ce fait que l'essence, ne pouvant plus s'écouler dans les inflorescences, demeure dans les parties vertes où elle a pris naissance. Autrement dit, *l'inflorescence reçoit tout d'abord les composés odorants que lui fournit l'appareil chlorophyllien*. Des recherches exposées plus haut avaient conduit à la même conclusion.

Il y avait lieu d'étudier, connaissant l'influence de la formation des inflorescences, les résultats de l'accomplissement des fonctions de la fleur.

2. — EFFETS DE L'ACCOMPLISSEMENT DES FONCTIONS DE LA FLEUR

Les recherches dont nous venons de résumer les résultats et les déductions avaient pour but de montrer, au point de vue de l'accumulation de l'huile essentielle dans les organes verts de la plante, l'influence de la formation des inflorescences. Pour cela on a supprimé les sommités florifères, au fur et à mesure de leur for-

mation et comparé, avant la fin de la végétation, aux plantes témoins les plantes soumises à cette opération. Ensuite, MM. Charabot et Hébert[1] ont voulu connaître non plus l'influence de la formation des inflorescences, mais bien les résultats de l'accomplissement des fonctions de la fleur en ce qui concerne les produits odorants. Il leur a suffi d'enlever, jusqu'à la fin de la végétation, les inflorescences formées au lieu d'arrêter l'expérience à l'époque de la floraison.

Une plantation de Basilic a été divisée en deux lots, dont l'un renfermait les plantes témoins et l'autre des plantes qui, dès le début de la floraison, c'est-à-dire à partir du 4 juillet, furent journellement débarrassées de leurs inflorescences naissantes.

Tandis que dans les recherches précédentes effectuées avec la Menthe poivrée les inflorescences furent simplement écartées, on prit soin, dans les expériences que nous décrivons, de peser tous les jours les inflorescences enlevées et de les épuiser au moyen de l'éther de pétrole, de façon à pouvoir déterminer la quantité totale d'essence produite par les végétaux soumis à l'étude, ainsi que sa composition.

On fit une première coupe le 4 juillet, alors que les premières inflorescences allaient apparaître, de façon à fixer l'état de développement de la plante, sa richesse en essence et la composition chimique de celle-ci au début des expériences. Le 15 septembre, après l'accomplissement des fonctions de la fleur, on fit une coupe de plantes témoins, et l'on distilla leurs parties

[1] Charabot et Hébert, 2, 1905, 3e série, t. XXXIII, p. 1121 3, 1905, t. CXLI, p. 772.

vertes ; les inflorescences furent épuisées au moyen de l'éther de pétrole, et le résidu de l'évaporation du dissolvant fut soumis à la distillation avec la vapeur d'eau. Les plantes systématiquement débarrassées de leurs inflorescences furent distillées le même jour, tandis que le produit total de l'épuisement des inflorescences écartées fut, lui aussi, distillé avec la vapeur. On remarquera que, dans un cas comme dans l'autre, les mêmes organes furent soumis à des traitements identiques.

De plus, l'extraction des huiles essentielles fut effectuée en ayant soin de toujours épuiser les eaux de distillation, de façon à obtenir la totalité de la matière odorante.

La suppression des influences eut pour effet un accroissement considérable de la tige.

Voici les résultats du dosage des essences :

	4 juillet	*15 septembre*					
		PLANTES TÉMOINS			PLANTES SYSTÉMATIQUEMENT PRIVÉES DE LEURS INFLORESCENCE		
	Parties aériennes formées de tiges et de feuilles.	Tiges et feuilles.	Inflorescences.	Ensemble des parties aériennes.	Tiges et feuilles.	Inflorescences.	Ensemb des parti aérienne
Essence p. 100 de matière fraîche.	0,0704	0,0341	0,0211	0,0274	0,0270	0,0639	—
Essence p. 100 de matière sèche .	0,4923	0,1543	0,1034	0,1274	0,1116	—	—
Poids d'essence correspondant à un pied. . .	20 mgr.	103 mgr.	69 mgr.	**172 mgr.**	177 mgr.	135 mgr.[1]	**312 mg**

[1] Poids d'essence contenu dans les inflorescences enlevées correspondant à un pied.

Rappelons tout d'abord que la racine de Basilic ne renferme pas d'huile essentielle, de sorte que le poids d'essence contenu dans les parties aériennes d'un pied est, en réalité, le poids contenu dans un pied entier.

Les nombres ci-dessus montrent que, *par le fait de la suppression des inflorescences, le poids d'essence produit par chaque pied s'est trouvé presque doublé. Les vieilles inflorescences qui ont accompli leurs fonctions essentielles ont conservé moins de matière odorante que n'en ont emporté les inflorescences écartées au fur et à mesure de leur apparition. Le poids absolu d'essence qui demeure dans les parties vertes de chaque pied se trouve accrû.* Toutefois, ce dernier accroissement n'est pas en proportion du développement des organes verts. Cela provient de ce que, tandis que chez les plantes témoins, une fois achevée la formation des graines, une certaine quantité d'essence retourne dans l'appareil chlorophyllien, ce retour n'a pu se produire chez les plantes systématiquement privées de leurs inflorescences.

Voyons maintenant quelle est la plante qui, pour un même poids de matière végétale formée, a conservé le plus d'essence :

		Plantes témoins.	Plantes systématiquement privées de leurs inflorescences.
Essence conservée par l'ensemble des organes p. 100 de matière	fraîche .	0.0274	0,0373
	sèche . .	0,13	0,17

Est-ce uniquement par suite du développement plus considérable de la plante privée d'inflorescences que le poids des produits odorants se trouve augmenté? Les

nombres donnés en dernier lieu permettent de conclure que cet accroissement tient aussi à une autre cause, puisque, pour un même poids de matière végétale formée, on voit subsister, chez la plante systématiquement privée de ses inflorescences, une quantité d'essence sensiblement plus grande. Et cette cause réside dans le fait que, chez les inflorescences restées sur pied, il y a eu, lors de la fécondation et de la formation des graines, consommation d'une certaine quantité d'essence. *Cette consommation avait été constatée dans l'un des précédents chapitres. Les résultats que nous venons d'exposer démontrent qu'elle est due au fonctionnement de la fleur.*

Ces observations sur les conséquences de l'accomplissement des fonctions de la fleur présentent un intérêt positif qui ressort des chiffres suivants. La suppression des inflorescences a pour effet : 1° *une augmentation du poids de la plante,* augmentation qui atteint 39 °/₀ du poids normal ; 2° *un accroissement du poids de l'essence* qui s'élève à 82 °/₀ de la production normale. C'est le travail de la fécondation qui, chez la plante témoin, entraîne la consommation de matière correspondant à cet accroissement.

Des conclusions analogues découlent d'observations faites sur la Menthe poivrée dite « basiliquée », c'est-à-dire modifiée sous l'influence d'une piqûre d'insecte, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment. Cette plante, avons-nous dit, subit une véritable castration : elle ne fleurit pas, et ses organes verts deviennent plus importants. La proportion et le poids absolu de l'essence qu'elle produit sont, ce dernier surtout, sensiblement plus élevés que dans le cas de la plante

saine. Les rendements obtenus avec des végétaux provenant d'un même champ sont les suivants :

	Menthe saine.	Menthe basiliquée.
Essence p. 100 de plante fraîche. .	0,312 %	0,892 %

Si l'on tient compte, au surplus, de ce que le poids de la Menthe basiliquée est considérablement plus grand que celui de la Menthe saine, on verra combien grande est l'augmentation de la quantité absolue d'essence qui résulte du fait de l'atrophie des organes de reproduction.

Revenons au cas du Basilic.

En se basant à la fois sur les résultats que leur a fournis l'analyse des essences et sur ceux, exposés plus haut, qu'ont obtenus MM. Charabot et Laloue, les auteurs constatent bien que l'essence des inflorescences écartées possède la composition d'un produit de formation ou plutôt de circulation plus récente que l'essence corespondante de la plante témoin. Lorsque, après la formation des graines, les organes verts de cette dernière plante ont reçu une nouvelle quantité d'essence par retour, l'analyse de l'huile essentielle accuse un enrichissement en composés terpéniques autres que le linalol. L'essence de feuilles et tiges de la plante témoin et celle de la plante privée d'inflorescences présentent des différences qui concordent avec cette observation.

En résumé, en écartant les inflorescences au fur et à mesure de leur formation, le poids d'essence produit par chaque pied se trouve presque doublé. Si l'on étudie la distribution des produits odorants entre les diverses parties de la plante, on constate que les vieilles

inflorescences ayant accompli leurs fonctions essentielles conservent moins de produits odorants que n'en emportent les inflorescences systématiquement écartées ; on constate aussi que le poids absolu d'essence qui demeure dans les parties vertes de chaque pied se trouve accrû par suite de la suppression des sommités florifères. Enfin, pour un même poids de substance végétale formée, il subsistera, chez la plante privée de ses fonctions de reproduction, une quantité d'essence plus grande. Ces observations montrent bien que le travail de la fécondation et de la formation des graines entraîne une consommation de produits odorants. Avec cette manière de voir concordent, d'ailleurs, les déductions de l'analyse des huiles essentielles extraites de la plante témoin et de la plante soumise à l'expérience.

En peu de mots peuvent se formuler les conclusions les plus importantes dégagées de ces études : Les matières odorantes sont susceptibles d'être utilisées par la plante, en particulier lorsque celle-ci, placée à l'abri de la lumière, n'assimile plus avec la même puissance l'acide carbonique de l'air. Elles participent normalement au travail de la fécondation et de la formation des graines au cours duquel elles sont partiellement consommées.

Signification physiologique de l'acide cyanhydrique chez les végétaux.

Nous venons de nous occuper du rôle physiologique des composés odorants considérés dans leur ensemble, et nous avons constaté que ces composés paraissent,

d'une manière générale, participer à la dépense que nécessite l'accomplissement de quelques fonctions essentielles. Mais, si telle est la signification de l'ensemble des matières odorantes, n'en existe-t-il pas, parmi elles, dont la destination soit toute autre? L'énumération des principes constitutifs des essences, qui a trouvé sa place plus haut, a bien montré que tous ces principes n'ont pas le même squelette moléculaire. Si un groupe important de ces corps réunit des individus étroitement apparentés, il n'en est pas moins vrai que bon nombre de substances odorantes se trouvent fort éloignées les unes des autres dans la classification des espèces chimiques. Aussi y aurait-il lieu d'examiner le rôle particulier des principes aromatiques dont la nature chimique est nettement différente de celle de l'ensemble des composés élaborés par les plantes sur lesquelles ont porté les expériences décrites au début de ce chapitre. L'acide cyanhydrique, dans cet ordre d'idées, est un des corps présentant le plus d'intérêt, aussi bien à cause de sa nature de substance azotée que de ses propriétés éminemment toxiques. Précisément les belles conceptions de M. Armand Gautier, les intéressantes recherches de M. Treub et de M. L. Guignard ont fait jaillir d'abondantes lumières sur la question de la signification physiologique de ce composé chez les végétaux.

Pour se rendre compte de cette signification, M. Treub[1] a étudié tout d'abord la distribution de l'acide cyanhydrique dans le *Pangium edule* Reinw. Opérant à l'aide de la méthode microchimique, il a

[1] Treub, 1896, t. XIII, p. 1.

constaté que, dans la tige par exemple, l'acide cyanhydrique existe soit dans les divers éléments du liber, soit dans des cellules spéciales, où il est accompagné d'une matière albuminoïde qui subsiste alors que l'acide cyanhydrique a déjà disparu.

C'est dans le limbe de la feuille que l'acide cyanhydrique est le plus abondant. Toutes ou presque toutes les cellules du parenchyme du limbe en contiennent, et s'il n'y est pas spécialement localisé, il en est tout autrement de l'épiderme, où la localisation est très nette dans les cellules basilaires des poils et dans les cellules à oxalate de calcium. M. Treub considère les feuilles comme les usines générales où se fabrique la majeure partie de l'acide cyanhydrique du *Pangium edule* Reinw., et c'est là une manière de voir tout à fait analogue à celle de M. Charabot et de ses collaborateurs en ce qui concerne les huiles essentielles. Les cellules spéciales constituent des usines secondaires répondant aux besoins locaux. Elles se rencontrent surtout aux points où la plante a besoin de beaucoup de substances plastiques. dans l'écorce et au sommet de la tige, par exemple.

M. Treub s'est demandé si l'acide cyanhydrique ainsi formé dans les feuilles se transportait dans le liber du *Pangium*. En ayant recours à des incisions annulaires, il a pu constater que, au bout de cinq à dix jours, chez toutes les plantes examinées, il n'y avait plus trace d'acide cyanhydrique dans le liber des régions situées au-dessous de l'incision, alors qu'il était abondant au-dessus. En outre, l'acide cyanhydrique était plus abondant chez les feuilles des plantes soumises à l'expérience que chez les feuilles des plantes

normales. C'est que les incisions avaient eu pour effet d'interrompre la circulation de l'acide cyanhydrique dans le liber.

En conséquence, *l'acide cyanhydrique ne reste pas emmagasiné dans le limbe où il s'est formé. Il est transporté dans le liber vers tous les points où la plante a besoin de beaucoup de matière plastique azotée.* Or cette substance, sans cesse produite et répartie en diverses régions plus oumoins éloignées de son lieu d'origine, ne présente-t-elle pas tous les caractères d'un produit transitoire?

Des feuilles de *Pangium edule* recouvertes partiellement de feuilles d'étain contenaient, après plus d'un mois, autant d'acide cyanhydrique dans les régions soustraites à l'action de la lumière que dans les parties éclairées. Par conséquent, la formation de l'acide cyanhydrique ne résulte pas de l'influence directe de la lumière. Elle dépend, par contre, de la présence dans les feuilles de matériaux de réserve qui ont pris naissance par suite de l'assimilation du carbone, et n'est dès lors pas sans rapports indirects avec les radiations lumineuses. Ces matériaux de réserve sont les hydrates de carbone, dont la présence est la condition indispensable de la formation de l'acide cyanhydrique dans le *Pangium edule*. Il s'agit ici du glucose ou d'un sucre analogue, très abondant en particulier dans les cellules basilaires des poils et dans les cellules oxalifères.

Reste à déterminer l'origine de l'azote de l'acide cyanhydrique qui a pris naissance dans les feuilles. M. Treub démontre que cet azote est emprunté aux nitrates du sol. Ayant observé que la feuille inférieure ou les deux

feuilles inférieures, chez les jeunes pieds de *Pangium*, sont entièrement ou presque entièrement exemptes d'acide cyanhydrique, M. Treub a pensé que le sol ne fournissait pas à ces feuilles l'azote nécessaire à la formation de l'acide cyanhydrique, l'élément en question étant entraîné vers les feuilles supérieures. Effectivement l'ablation de ces dernières a eu comme conséquence, dans un grand nombre de cas, l'apparition d'acide cyanhydrique dans les feuilles inférieures. La section de vaisseaux dans les nervures de certaines feuilles, en supprimant l'arrivée des principes azotés du sol, a supprimé aussi la formation d'acide cyanhydrique dans les parties de la feuille ainsi sectionnées.

La présence des matières inorganiques fournies par le sol constitue la seconde condition de laquelle dépend la formation de l'acide cyanhydrique dans les feuilles.

Ainsi, il paraît résulter des études de M. Treub que l'acide cyanhydrique des feuilles provient de la synthèse de substances tirant leur origine, d'une part des sucres réducteurs résultant du phénomène d'assimilation du carbone, d'autre part de sels minéraux, vraisemblablement des nitrates, fournis par le sol. Les radiations lumineuses n'auraient aucune intervention directe dans cette synthèse, et l'acide cyanhydrique serait un des premiers termes de la série des produits résultant de l'assimilation de l'azote.

Toutefois, les diverses tentatives faites en vue de démontrer expérimentalement un tel mécanisme avaient échoué. Mais, par de nouvelles expériences effectuées sur le *Phaseolus lunatus* L., M. Treub[1] a démontré que

[1] Treub, 1904, t. XIX, p. 86.

la présence à la fois d'hydrates de carbone et celle de nitrates est nécessaire pour la production de l'acide cyanhydrique dans les feuilles. Il semble donc que l'acide cyanhydrique soit un des matériaux qui concourent à la formation des matières albuminoïdes.

Mais l'acide cyanhydrique est relativement rare chez les plantes, et cette rareté n'oppose-t-elle pas une objection sérieuse à cette manière de voir? Si la série des plantes à acide cyanhydrique s'enrichit tous les jours de termes nouveaux, il n'en demeure pas moins incertain que les phénomènes soient partout les mêmes que chez le *Pangium edule* et le *Phaseolus lunatus*, et que partout la formation de l'acide cyanhydrique marque une étape dans la synthèse de la matière albuminoïde. Il est cependant permis de supposer que, lorsque l'acide cyanhydrique est complètement absent chez une plante, ce corps, dès sa formation, s'est engagé dans des combinaisons plus complexes. En d'autres termes, la synthèse de la matière albuminoïde ne présenterait pas, en pareil cas, le moindre arrêt au stade cyanhydrique. Et, d'ailleurs, le *Phaseolus lunatus* donne une idée d'un mécanisme semblable. On trouve dans ses feuilles jeunes 0.30 % d'acide cyanhydrique libre; les graines mûres contiennent elles aussi une quantité importante du même composé à l'état de glucoside. Pour passer des feuilles dans la graine, la tige a servi d'intermédiaire, et cependant, dans cet organe, l'acide cyanhydrique n'existe pas ou n'existe qu'en quantité insignifiante. Il a dû par conséquent s'y dissimuler sous une forme telle, qu'il échappe complètement à nos investigations.

Au point de vue chimique, l'hypothèse consistant

à envisager l'acide cyanhydrique comme un des produits intermédiaires de l'assimilation de l'azote par les plantes ne rencontre aucune objection. Pflüger a assigné au cyanogène un rôle prépondérant dans la formation de l'albumine vivante. M. Latham attribue aussi une importance capitale à l'acide cyanhydrique en ce qui concerne les matières albuminoïdes. M. A. Gauthier a puissamment appuyé cette hypothèse.

Et cependant, si, comme l'a démontré M. Guignard, les feuilles de Sureau et de Passiflore contiennent encore à l'arrière-saison, au moment de leur chute, la même quantité de glucoside cyanogénétique que durant les mois précédents, on peut avoir quelque hésitation à considérer ces glucosides comme des substances de réserve. Mais cette objection ne saurait concerner que l'acide cyanhydrique engagé dans une combinaison sous forme de glucoside, et non l'acide cyanhydrique libre. Et, d'ailleurs, ne connaît-on pas des feuilles qui, se détachant avant d'être desséchées, emportent une grande partie des matières nutritives telles que les hydrates de carbone? Une feuille de Platane ou de Peuplier, par exemple, tombée à l'automne, contient encore beaucoup de sucre et d'amidon, et, encore que réserves, ces substances, comme les principes azotés restés dans les feuilles, sont tout aussi bien perdues pour la plante que le glucoside dans le cas que nous venons d'envisager.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Asson. (Voir Easterfield.)

Auld. (Voir Dunstan, 2.)

Baker (Richard T.) et Smith (H. G.). A research on the Eucalypts especially in regard of their essential Oils. New South Wales, 1902.

Belle (L.). *Journ. de la Parfumerie et de la Savonnerie.*

Berthelot (M.). 1, *Annales de Chimie et de Physique.*
— 2, *Chimie végétale et agricole,* Paris, 1899.
— 3, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Bertrand (Gabriel). 1, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 2, *Bulletin de la Société chimique.*

Biermann. 1, *Inaugural Dissertation,* Berne, 1896.
— 2, (voir Tschirch, 4).

Blondel (Dr). Les produits odorants des Rosiers. Paris, O. Doin, 1889.

Bonnier (G.). 1, *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.
— 2, *Revue générale de Botanique.*

Bourquelot (E.). 1, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 2, et Danjou, 1, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 3, *Ibid.,* 2, *Journal de Pharmacie et de Chimie.*
— 4, et Hérissey, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Boutron 1, et Frémy, *Journal de Pharmacie.*
— 2, et Robiquet, *Journal de Pharmacie.*
— 3, (voir Robiquet, 2).

Brunnich (J.-C.). *Journal of the chemical Society.*

Buchmer. *Annalen der Chemie und Pharmacie.*

Buscalioni. *Malpighia.*

Bussy. *Journal de Pharmacie.*

Carles. *Journal de Pharmacie et de Chimie.*

Charabot (Eug.). 1, *Annales de Chimie et de Physique.*
— 2, *Bulletin du Jardin colonial.*
— 3, *Bulletin de la Société chimique.*
— 4, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 5, et Ebray, *Bulletin de la Société chimique.*
— 6, et Hébert (Alex.), 1, *Annales de Chimie et de Physique.*
— 7, *Ibid.*, 2, *Bulletin de la Société chimique.*
— 8, *Ibid.*, 3, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 9, et Laloue (G.), 1, *Bulletin de la Société chimique.*
— 10, *Ibid.*, 2, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 11, et Rocherolles (J.), *Bulletin de la Société chimique.*

Col. *Journal de Botanique.*

Combes (R.). (Voir Maheu.)

Curtel. *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.

Dassonville. *Revue générale de Botanique.*

Desmoulière (A.). *Journal de Pharmacie et de Chimie.*

Dioscoride. De matiera medica.

Dunstan. 1, et Henry, 1, *Proceed. royal Society.*
— 2, et Henry, 2, et Auld, *Proceedings of the royal Society.*

Dupont (J.) et Guerlain (J.), *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Durand. Index generum phanerogamorum. Bruxelles, 1888.

Easterfield et Asson, *Proceedings of the chemical Society.*

Eberhardt. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Ebray. (Voir Charabot, 5.)

Emmerling. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.*

Erdmann. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.*

Errera (Leo). Cours pratique de microchimie végétale. Bruges, 1906.

Fauré. *Journal de Pharmacie.*

Flückiger et Hanbury, *Pharmacographia.*

Franchimont. Beiträge zur Entstehung und chemischen Zusamensetzung der sogenannten Terpenharze. Leiden 1871.

Frankforter (G. B.) et F. C. Frary, *The Journal of the american chem. Society.*

Frary. (Voir Frankforter.)

Frémy. (Voir Boutron, 1.)

Gadamer. 1, *Apoth. Zeitung.*
— 2, *Archiv der Pharmacie.*

Gerock (J.-E.). (Voir Schneegans, 2 et 3.)

Gildemeister 1, et Hoffmann, Les Huiles essentielles. Paris et Leipzig, 1900.
— 2, et Stephan, *Archiv der Pharmacie.*

Glaser. *Repertorium für die Pharmacie.*

Greshoff. *British Association.* York, août 1906.

Griffon. *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.

Guérin. *Revue scientifique.*

Guerlain (J.). (Voir Dupont.)

Guettard. *Mémoires de l'Académie,* 1745 à 1756.

Guibourt. *Journal de Pharmacie.*

Guignard. 1, *Journal de Botanique.*
— 2, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 3, *Bulletin des Sciences pharmacologiques.*
— 4, et Houdas (J.), *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Haberlandt. 1, *Physiologische Pflanzenanatomie.*
— 2, *Sitzungsberichte der K. Akad. d. Wiss. Wien.*

Hanansek Program der K. K. Staats Realschule aus Schottenfelde. Wien, 1886.

Hanbury. (Voir Flückiger.)

Hanriot. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

HANSTEIN. *Botanische Zeitung.*

HÉBERT (A.), 1, et TRUFFAUT (G.), *Bulletin de la Société chimique.*
— 2, (voir CHARABOT).
— 3, (voir HEIM).

HEIM (F.) et HÉBERT (Alex.), *Bulletin de l'Association française pour l'avancement des Sciences.*

HENRY. (Voir DUNSTAN, 1 et 2.)

HÉRISSEY, 1, *Journal de Pharmacie et de Chimie.*
— 2, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*
— 3, (voir BOURQUELOT, 4).

HESSE (A.). 1, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.*
— 2, et ZEITSCHEL (O.), *Journal für praktische Chemie.*

HILL. *Journal of the chemical Society.*

HOFFMANN (Fr.). (Voir GILDEMEISTER.)

HÖHLKE. *Inaugural Dissertation.* Berne, 1901.

HOUDAS. (Voir GUIGNARD, 4.)

VAN ITALLIE (L.). *Journal de Pharmacie et de Chimie.*

JACOBSEN. *Annalen der Chemie und Pharmacie.*

JAMES (Marta M.). (Voir KREMERS.)

JITSCHY (P.). *Journal de Pharmacie et de Chimie.*

JORISSEN. *Journal de Pharmacie et de Chimie.*

JOUCK. *Archiv der Pharmacie.*

KARSTEN. *Botanische Zeitung.*

KASTLE et LOEVENHARDT, *American chemica Journal.*

KOHL (F.-G.). Ueber die Reversibilität der Enzymwirkungen und den Einfluss aüsserer Faktoren auf die Enzyme. Paris, 1907.

KREMERS et JAMES (Martha M.), *Pharmaceutical Review.*

LALOUE (G.). (Voir CHARABOT, 9 et 10.)

LANGE. (Voir LUDWIG.)

LAUBENHEIMER. (Voir WILL.)

LEBLOIS (Mlle). *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.

Lecomte (Henri). *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Lees. (Voir Power, 2.)

Lehmann. *Pharm. Zeitschr. für Russland.*

Liebig (J.) et Woehler, *Annales de Chimie et de Physique.*

Loevenhardt. (Voir Kastle.)

Ludwig et Lange, *Zeitschrift für Chemie und Pharm.*

Maheu (Jacques) et Combes (R.), *Bulletin de la Société botanique de France.*

Mallèvre. *Société nationale d'Agriculture.*

Malpighi. Opera omnia.

Martinet. Organes de sécrétion des végétaux. *Thèse de la Faculté des Sciences.* Paris, 1871.

Mayer (Arthur). Das Chlorophyllkorn.

Mesnard (E.). *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.

Meyen. Sekretionsorganen 1837.

Molisch. Grundriss einer Histochemie der pflanzlichen Genussmittel. Iéna, 1881.

Möller. *Mittheilung. der K. K. forstl. Versuchleit für Oesterreich*, III Heft.

Molliard (Marin). *Revue générale de Botanique.*

Müller (J. C.). *Pringsheim's Jahrbücher.*

Naumann. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.*

Passy (J.). *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Peschier. *Annales de Chimie et de Physique.*

Pierre (Isidore) et Puchot, *Annales de Chimie et de Physique.*

Pless. *Annalen der Chemie und Pharmacie.*

Porsch (O.). *Oesterreichische botanische Zeitschrift.*

Pottevin. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Pouchet. *Bulletin de l'Académie de Médecine.*

Power 1, et Gornall, *Proceed. chemical Society*
— 2, et Lees, *Proceed. chemical Society.*

Procter. *American Journal of Pharmacy.*

Puchot. (Voir Isidore Pierre.)

Ricôme. *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.*

Robiquet. 1, *Journal de Pharmacie.*
— 2, et Boutron-Charlard, *Annales de Chimie et de Physique.*

Rocherolles (J.). (Voir Charabot, 11.)

Romburgh (P. van). *Bulletin du jardin botanique de Buitenzorg.*

Sanio. *Pringsheim Jahrbücher.*

Schneegans (A.) 1, *Journ. der Pharm. v. Elsass-Lothringen.*
— 2, et J.-E. Gerock, 1, *Archiv der Pharmacie.*
— *Ibid.*, 2, Ref. *Jahresb. f. Pharm.*

Schwabach. *Berichte der deutschen botan. Gesellschaft.*

Schwabach (Frau). *Berichte der deutschen botan. Gesellschaft.*

Sieck (Willy). Die schizolysigenen Secretbehälter. *Inaug. Dissert.* Berne, 1895.

Slade. *Journ. Am. chem. Soc.*

Smith (H. G.). 1, *Chemical News.*
— 2, (voir R. T. Baker).

Soleder. Systematische Anatomie der Dicotyledonen. Stuttgard, 1899.

Sotthilf-Lutz. Die oblito-schizogenen Sekretbehälter der Myrtacen.

Springer. *Inaug. Dissertation.* Berlin, 1894.

Stapf (Otto). *Bull. of. Miscellaneous Information:* Roy. Botanic Gardens. Kew, 1906.

Stephan. (Voir Gildemeister, 2.)

Strasburger. Das botanische Practicum, vierte Auflage. Iéna.

Thoms. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.*

Tieghem (van). *Annales des Sciences naturelles.* Botanique.

TSCHIRCH. **1**, Die Harze und Harzebehälter. Leipzig, 1906.

— **2**, *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.*

— 3, *Revue générale des Sciences pures et appliquées.*

— **4**, et BIERMANN, *Archiv der Pharmacie.*

— **5**, et TUNMANN, *Archiv der Pharmacie.*

TUNMANN (Otto). **1**, Uber die Sekretdrüsen. *Dissert. inaug.* Berne, 1900.

— **2**, (voir TSCHIRCH, **5**).

UMNEY. *Pharmaceutical Journal.*

VOLKENS. *Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft.*

WALBAUM. (Voir BERTRAM.)

WARMING (Eug.). Lehrbueh der œkologisehe Pflanzengeographie (Deutsehe Ausgabe). Berlin, 1896.

WIESNER. *Sitzungsberichte der Wiener Akademie.*

WIGAUD. *Botanische Zeitung.*

WILKE. Ueber die Anatomische Beziehungen der Gerbstoffes zu den Sekrethehältern der Pflanze. *Inaug. Dissert.* Halle, 1883.

WILL (H.) et LAUBENHEIMER, *Annalen der Chemie und Pharmacie.*

WOEHLER. (Voir LIEBIG.)

ZEITSCHEL (O.). (Voir HESSE, **2**.)

INDEX BOTANIQUE

R

[1] Pendant le cours de l'impression de cet ouvrage, a été signalée une nouvelle essence extraite du *Xylopia longifolia* L.: plante de l'Amérique centrale.

INDEX CHIMIQUE

TABLE SYSTÉMATIQUE DES MATIÈRES

CHAPITRE IV

FORMATION ET CIRCULATION DES PRODUITS ODORANTS

CHAPITRE V

ÉVOLUTION DES COMPOSÉS ODORANTS

CHAPITRE VI

RÔLE PHYSIOLOGIQUE DES MATIÈRES ODORANTES

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

Publiée sous la direction du Dr TOULOUSE

Nous avons entrepris la publication, sous la direction générale de son fondateur, le Dr Toulouse, Directeur à l'École des Hautes-Études, d'une Encyclopédie scientifique de langue française dont on mesurera l'importance à ce fait qu'elle est divisée en 40 sections ou Bibliothèques et qu'elle comprendra environ 1000 volumes. Elle se propose de rivaliser avec les plus grandes encyclopédies étrangères et même de les dépasser, tout à la fois par le caractère nettement scientifique et la clarté de ses exposés, par l'ordre logique de ses divisions et par son unité, enfin par ses vastes dimensions et sa forme pratique.

I

PLAN GÉNÉRAL DE L'ENCYCLOPÉDIE

Mode de publication. — L'*Encyclopédie* se composera de monographies scientifiques, classées méthodiquement et formant dans leur enchaînement un exposé de toute la science. Organisée sur un plan systématique, cette Encyclopédie, tout en évitant les inconvénients des Traités, — massifs, d'un prix global élevé, difficiles à consulter, — et les inconvénients des Dictionnaires, — où les articles scindés irrationnellement, simples chapitres alphabétiques, sont toujours nécessairement incomplets, — réunira les avantages des uns et des autres.

Du Traité, l'*Encyclopédie* gardera la supériorité que possède

un ensemble complet, bien divisé et fournissant sur chaque science tous les enseignements et tous les renseignements qu'on en réclame. Du Dictionnaire, l'*Encyclopédie* gardera les facilités de recherches par le moyen d'une table générale, l'*Index de l'Encyclopédie,* qui paraîtra dès la publication d'un certain nombre de volumes et sera réimprimé périodiquement. L'*Index* renverra le lecteur aux différents volumes et aux pages où se trouvent traités les divers points d'une question.

Les éditions successives de chaque volume permettront de suivre toujours de près les progrès de la science. Et c'est par là que s'affirme la supériorité de ce mode de publication sur tout autre. Alors que, sous sa masse compacte, un traité, un dictionnaire ne peut être réédité et renouvelé que dans sa totalité et qu'à d'assez longs intervalles, inconvénients graves qu'atténuent mal des suppléments et des appendices, l'*Encyclopédie scientifique,* au contraire, pourra toujours rajeunir les parties qui ne seraient plus au courant des derniers travaux importants. Il est évident, par exemple, que si des livres d'algèbre ou d'acoustique physique peuvent garder leur valeur pendant de nombreuses années, les ouvrages exposant les sciences en formation, comme la chimie physique, la psychologie ou les technologies industrielles, doivent nécessairement être remaniés à des intervalles plus courts.

Le lecteur appréciera la souplesse de publication de cette *Encyclopédie,* toujours vivante, qui s'élargira au fur et à mesure des besoins dans le large cadre tracé dès le début, mais qui constituera toujours, dans son ensemble, un traité complet de la Science, dans chacune de ses sections un traité complet d'une science, et dans chacun de ses livres une monographie complète. Il pourra ainsi n'acheter que telle ou telle section de l'*Encyclopédie,* sûr de n'avoir pas des parties dépareillées d'un tout.

L'*Encyclopédie* demandera plusieurs années pour être achevée ; car pour avoir des expositions bien faites, elle a pris ses collaborateurs plutôt parmi les savants que parmi les professionnels de la rédaction scientifique que l'on retrouve généralement dans les œuvres similaires. Or les savants écrivent peu et lentement : et il est préférable de laisser temporairement sans attribution certains ouvrages plutôt que de les confier à des auteurs insuffisants. Mais cette lenteur et ces vides ne présenteront pas d'in-

convénients, puisque chaque livre est une œuvre indépendante et que tous les volumes publiés sont à tout moment réunis par l'*Index de l'Encyclopédie*. On peut donc encore considérer l'Encyclopédie comme une librairie, où les livres soigneusement choisis, au lieu de représenter le hasard d'une production individuelle, obéiraient à un plan arrêté d'avance, de manière qu'il n'y ait ni lacune dans les parties ingrates, ni double emploi dans les parties très cultivées.

Caractère scientifique des ouvrages. — Actuellement, les livres de science se divisent en deux classes bien distinctes : les livres destinés aux savants spécialisés, le plus souvent incompréhensibles pour tous les autres, faute de rappeler au début des chapitres les connaissances nécessaires, et surtout faute de définir les nombreux termes techniques incessamment forgés, ces derniers rendant un mémoire d'une science particulière inintelligible à un savant qui en a abandonné l'étude durant quelques années ; et ensuite les livres écrits pour le grand public, qui sont sans profit pour des savants et même pour des personnes d'une certaine culture intellectuelle.

L'*Encyclopédie scientifique* a l'ambition de s'adresser au public le plus large. Le savant spécialisé est assuré de rencontrer dans les volumes de sa partie une mise au point très exacte de l'état actuel des questions ; car chaque Bibliothèque, par ses techniques et ses monographies, est d'abord faite avec le plus grand soin pour servir d'instrument d'études et de recherches à ceux qui cultivent la science particulière qu'elle représente, et sa devise pourrait être : *Par les savants, pour les savants.* Quelques-uns de ces livres seront même, par leur caractère didactique, destinés à devenir des ouvrages classiques et à servir aux études de l'enseignement secondaire ou supérieur. Mais, d'autre part, le lecteur non spécialisé est certain de trouver, toutes les fois que cela sera nécessaire, au seuil de la section, — dans un ou plusieurs volumes de généralités, — et au seuil du volume, — dans un chapitre particulier, — des données qui formeront une véritable introduction le mettant à même de poursuivre avec profit sa lecture. Un vocabulaire technique, placé, quand il y aura lieu, à la fin du volume, lui permettra de connaître toujours le sens des mots spéciaux.

II

ORGANISATION SCIENTIFIQUE

Par son organisation scientifique, l'*Encyclopédie* paraît devoir offrir aux lecteurs les meilleures garanties de compétence. Elle est divisée en Sections ou Bibliothèques, à la tête desquelles sont placés des savants professionnels spécialisés dans chaque ordre de sciences et en pleine force de production, qui, d'accord avec le Directeur général, établissent les divisions des matières, choisissent les collaborateurs et acceptent les manuscrits. Le même esprit se manifestera partout : éclectisme et respect de toutes les opinions logiques, subordination des théories aux données de l'expérience, soumission à une discipline rationnelle stricte ainsi qu'aux règles d'une exposition méthodique et claire. De la sorte, le lecteur, qui aura été intéressé par les ouvrages d'une section dont il sera l'abonné régulier, sera amené à consulter avec confiance les livres des autres sections dont il aura besoin, puisqu'il sera assuré de trouver partout la même pensée et les mêmes garanties. Actuellement, en effet, il est, hors de sa spécialité, sans moyen pratique de juger de la compétence réelle des auteurs.

Pour mieux apprécier les tendances variées du travail scientifique adapté à des fins spéciales, l'*Encyclopédie* a sollicité, pour la direction de chaque Bibliothèque, le concours d'un savant placé dans le centre même des études du ressort. Elle a pu ainsi réunir des représentants des principaux Corps savants, Établissements d'enseignement et de recherches de langue française :

Institut.
Académie de Médecine.

Collège de France.
Muséum d'Histoire naturelle.
École des Hautes-Études.
Sorbonne et École normale.
Facultés des Sciences.
Facultés des Lettres.
Facultés de Médecine.
Instituts Pasteur.
École des Ponts et Chaussées.
École des Mines.
École Polytechnique.
Conservatoire des Arts et Métiers.
École d'Anthropologie.
Institut National agronomique.
École vétérinaire d'Alfort.
École supérieure d'Électricité.
École de Chimie industrielle de Lyon.
École des Beaux-Arts.
École des Sciences politiques.

Observatoire de Paris.
Hôpitaux de Paris.

III

BUT DE L'ENCYCLOPÉDIE

Au XVIIIe siècle, « l'Encyclopédie » a marqué un magnifique mouvement de la pensée vers la critique rationnelle. A cette époque, une telle manifestation devait avoir un caractère philosophique. Aujourd'hui, l'heure est venue de renouveler ce grand effort de critique, mais dans une direction strictement scientifique; c'est là le but de la nouvelle *Encyclopédie.*

Ainsi la science pourra lutter avec la littérature pour la direction des esprits cultivés, qui, au sortir des écoles, ne demandent guère de conseils qu'aux œuvres d'imagination et à des encyclopédies où la science a une place restreinte, tout à fait hors de proportion avec son importance. Le moment est favorable à cette tentative ; car les nouvelles générations sont plus instruites dans l'ordre scientifique que les précédentes. D'autre part la science est devenue, par sa complexité et par les corrélations de ses parties, une matière qu'il n'est plus possible d'exposer sans la collaboration de tous les spécialistes, unis là comme le sont les producteurs dans tous les départements de l'activité économique contemporaine.

A un autre point de vue, l'*Encyclopédie,* embrassant toutes les manifestations scientifiques, servira comme tout inventaire à mettre au jour les lacunes, les champs encore en friche ou abandonnés, — ce qui expliquera la lenteur avec laquelle certaines sections se développeront, — et suscitera peut-être les travaux nécessaires. Si ce résultat est atteint, elle sera fière d'y avoir contribué.

Elle apporte en outre une classification des sciences et, par ses divisions, une tentative de mesure, une limitation de chaque domaine. Dans son ensemble, elle cherchera à refléter exactement le prodigieux effort scientifique du commencement de ce siècle et un moment de sa pensée, en sorte que dans l'avenir elle reste le document principal où l'on puisse retrouver et consulter le témoignage de cette époque intellectuelle.

On peut voir aisément que l'*Encyclopédie* ainsi conçue, ainsi réalisée, aura sa place dans toutes les bibliothèques publiques, universitaires et scolaires, dans les laboratoires, entre les mains

des savants, des industriels et de tous les hommes instruits qui veulent se tenir au courant des progrès, dans la partie qu'ils cultivent eux-mêmes ou dans tout le domaine scientifique. Elle fera jurisprudence, ce qui lui dicte le devoir d'impartialité qu'elle aura à remplir.

Il n'est plus possible de vivre dans la société moderne en ignorant les diverses formes de cette activité intellectuelle qui révolutionne les conditions de la vie ; et l'interdépendance de la science ne permet plus aux savants de rester cantonnés, spécialisés dans un étroit domaine. Il leur faut, — et cela leur est souvent difficile, — se mettre au courant des recherches voisines. A tous, l'*Encyclopédie* offre un instrument unique dont la portée scientifique et sociale ne peut échapper à personne.

IV

CLASSIFICATION DES MATIÈRES SCIENTIFIQUES

La division de l'*Encyclopédie* en Bibliothèques a rendu nécessaire l'adoption d'une classification des sciences, où se manifeste nécessairement un certain arbitraire, étant donné que les sciences se distinguent beaucoup moins par les différences de leurs objets que par les divergences des aperçus et des habitudes de notre esprit. Il se produit en pratique des interpénétrations réciproques entre leurs domaines, en sorte que, si l'on donnait à chacun l'étendue à laquelle il peut se croire en droit de prétendre, il envahirait tous les territoires voisins ; une limitation assez stricte est nécessitée par le fait même de la juxtaposition de plusieurs sciences.

Le plan choisi, sans viser à constituer une synthèse philosophique des sciences, qui ne pourrait être que subjective, a tendu pourtant à échapper dans la mesure du possible aux habitudes traditionnelles d'esprit, particulièrement à la routine didactique, et à s'inspirer de principes rationnels.

Il y a deux grandes divisions dans le plan général de l'*Encyclopédie :* d'un côté les sciences pures, et, de l'autre, toutes les technologies qui correspondent à ces sciences dans la sphère des applications. A part et au début, une Bibliothèque d'introduc-

tion générale est consacrée à la philosophie des sciences (histoire des idées directrices, logique et méthodologie).

Les sciences pures et appliquées présentent en outre une division générale en sciences du monde inorganique et en sciences biologiques. Dans ces deux grandes catégories, l'ordre est celui de particularité croissante, qui marche parallèlement à une rigueur décroissante. Dans les sciences biologiques pures enfin, un groupe de sciences s'est trouvé mis à part, en tant qu'elles s'occupent moins de dégager des lois générales et abstraites que de fournir des monographies d'êtres concrets, depuis la paléontologie jusqu'à l'anthropologie et l'ethnographie.

Étant donnés les principes rationnels qui ont dirigé cette classification, il n'y a pas lieu de s'étonner de voir apparaître des groupements relativement nouveaux, une biologie générale, — une physiologie et une pathologie végétales, distinctes aussi bien de la botanique que de l'agriculture, — une chimie physique, etc.

En revanche, des groupements hétérogènes se disloquent pour que leurs parties puissent prendre place dans les disciplines auxquelles elles doivent revenir. La géographie, par exemple, retourne à la géologie, et il y a des géographies botanique, zoologique, anthropologique, économique, qui sont étudiées dans la botanique, la zoologie, l'anthropologie, les sciences économiques.

Les sciences médicales, immense juxtaposition de tendances très diverses, unies par une tradition utilitaire, se désagrègent en des sciences ou des techniques précises ; la pathologie, science de lois, se distingue de la thérapeutique ou de l'hygiène, qui ne sont que les applications des données générales fournies par les sciences pures, et à ce titre mises à leur place rationnelle.

Enfin, il a paru bon de renoncer à l'anthropocentrisme qui exigeait une physiologie humaine, une anatomie humaine, une embryologie humaine, une psychologie humaine. L'homme est intégré dans la série animale dont il est un aboutissant. Et ainsi, son organisation, ses fonctions, son développement, s'éclairent de toute l'évolution antérieure et préparent l'étude des formes plus complexes des groupements organiques qui sont offerts par l'étude des sociétés.

On peut voir que, malgré la prédominance de la préoccupation pratique dans ce classement des Bibliothèques de l'*Encyclopédie scientifique,* le souci de situer rationnellement les sciences dans leurs rapports réciproques n'a pas été négligé. Enfin il est à peine besoin d'ajouter que cet ordre n'implique nullement une hiérarchie, ni dans l'importance ni dans les difficultés des diverses sciences. Certaines, qui sont placées dans la technologie, sont d'une complexité extrême, et leurs recherches peuvent figurer parmi les plus ardues.

Prix de la publication. — Les volumes, illustrés pour la plupart, seront publiés dans le format in-18 jésus et cartonnés. De dimensions commodes, ils auront 400 pages environ, ce qui représente une matière suffisante pour une monographie ayant un objet défini et important, établie du reste selon l'économie du projet qui saura éviter l'émiettement des sujets d'exposition. Le prix étant fixé uniformément à 5 francs, c'est un réel progrès dans les conditions de publication des ouvrages scientifiques, qui, dans certaines spécialités, coûtent encore si cher.

TABLE DES BIBLIOTHÈQUES

DIRECTEUR : Dr TOULOUSE, Directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : H. PIÉRON, agrégé de l'Université.

DIRECTEURS DES BIBLIOTHÈQUES :

1. *Philosophie des Sciences.* P. PAINLEVÉ, de l'Institut, professeur à la Sorbonne.

I. SCIENCES PURES

A. Sciences mathématiques :

2. *Mathématiques* . . . J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.

3. *Mécanique* . . . . . J. DRACH, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Toulouse.

B. Sciences inorganiques :

4. *Physique*. . . . . . A. LEDUC, professeur adjoint de physique à la Sorbonne.

5. *Chimie physique*. . . J. PERRIN, chargé de cours à la Sorbonne.

6. *Chimie* . . . . . . A. PICTET, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Genève.

7. *Astronomie et Physique céleste*. . . . . J. MASCART, astronome adjoint à l'Observatoire de Paris.

8. *Météorologie* . . . . B. BRUNHES, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme, professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Clermont-Ferrand.

9. *Minéralogie et Pétrographie* . . . . . . A. LACROIX, de l'Institut, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

10. *Géologie* . . . . . . M. BOULE, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

23. *Zoologie* . . . . . . G. Loisel, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

24. *Anatomie et Embryologie* . . . . G. Loisel, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études.

25. *Anthropologie et Ethnographie* . . . . . G. Papillault, directeur adjoint du Laboratoire d'Anthropologie à l'École des Hautes-Études, professeur à l'École d'Anthropologie.

26. *Économie politique* . . D. Bellet, professeur à l'École des Sciences politiques.

II. Sciences appliquées

A. Sciences mathématiques :

27. *Mathématiques appliquées* . . . . . . M. d'Ocagne, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.

28. *Mécanique appliquée et génie* . . . . . . M. d'Ocagne, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École polytechnique.

B. Sciences inorganiques :

29. *Industries physiques* . H. Chaumat, sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité de Paris.

30. *Photographie* . . . . A. Seyewetz, sous-directeur de l'École de Chimie industrielle de Lyon.

31. *Industries chimiques*. . J. Derôme, professeur agrégé de physique au collège Chaptal, inspecteur des Établissements classés.

32. *Géologie et minéralogie appliquées* . . . . L. Cayeux, professeur à l'Institut national agronomique, professeur de géologie à l'École des Mines.

33. *Construction* . . . . J. Pillet, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École des Beaux-Arts.

C. Sciences biologiques :

34. *Industries biologiques*. G. Bertrand, chargé de cours à la Sorbonne.

35. *Botanique appliquée et agriculture* . . . . H. Lecomte, professeur au Muséum d'Histoire naturelle.

36. *Zoologie appliquée* . . R. BARON, professeur à l'École vétérinaire d'Alfort.

37. *Thérapeutique générale et pharmacologie.* . G. POUCHET, membre de l'Académie de médecine, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris.

38. *Hygiène et médecine publiques* . . . . A. CALMETTE, professeur à la Faculté de Médecine de l'Université, directeur de l'Institut Pasteur de Lille.

39. *Psychologie appliquée.* E. TOULOUSE, directeur de Laboratoire à l'École des Hautes-Études, médecin en chef de l'asile de Villejuif.

40. *Sociologie appliquée.* . TH. RUYSSEN, professeur à la Faculté des Lettres de l'Université de Bordeaux.

M. ALBERT MAIRE, bibliothécaire à la Sorbonne, est chargé de l'*Index* de l'Encyclopédie scientifique.

---

33 308. — Tours, impr. Mame.



